



TUGAS AKHIR - TM 145547

**PENGARUH AIR DAN OLI MESRAN SAE 40
TERHADAP HASIL FILM RADIOGRAFI
PENGUJIAN TAK RUSAK, MATERIAL PIPA API
5L GRADE B 4 INCH SCHEDULE 40**

**KURNIAWAN JAYA ATMAJA APRILIN
NRP.2114 030 019**

**Dosen Pembimbing 1
Ir. Subowo, MSc
19581004 198701 1 001**

**Dosen Pembimbing 2
Ir. Gathot Dwi Winarto, MT
19580915 198701 1 001**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III
JURUSAN DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



TUGAS AKHIR - TM 145547

**PENGARUH AIR DAN OLI MESRAN SAE 40
TERHADAP HASIL FILM RADIOGRAFI
PENGUJIAN TAK RUSAK, MATERIAL PIPA API
5L GRADE B 4 INCH SCHEDULE 40**

**KURNIAWAN JAYA ATMAJA APRILIN
NRP.2114 030 019**

**Dosen Pembimbing 1
Ir. Subowo, M.Sc
19581004 198701 1 001**

**Dosen Pembimbing 2
Ir. Gathot Dwi Winarto, MT
19580915 198701 1 001**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III
JURUSAN DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT - TM 145547

**EFFECTS OF WATER AND MESRAN SAE 40 OIL
ON FILM RESULT RADIOGRAPHY NON
DESTRUCTIVE TEST, MATERIAL PIPE API 5L
GRADE B 4 INCH SCHEDULE 40**

**KURNIAWAN JAYA ATMAJA APRILIN
NRP.2114 030 019**

**Counsellor Lecturer 1
Ir. Subowo, M.Sc
19581004 198701 1 001**

**Counsellor Lecturer 2
Ir. Gathot Dwi Winarto, MT
19580915 198701 1 001**

**DIPLOME III MECHANICAL ENGINEERING
DEPARTEMENT OF MECHANICAL ENGINEERING INDUSTRY
Faculty of Vocation
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH AIR DAN OLI MESRAN SAE 40 TERHADAP HASIL FILM RADIOGRAFI PENGUJIAN TAK RUSAK, MATERIAL PIPA API 5L GRADE B 4 INCH SCH 40

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Ahli Madya
pada**

**Bidang Studi Manufaktur
Program Studi Diploma III
Jurusan Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

**KURNIAWAN JAYA ATMAJA APRILIN
NRP. 2114 030 019**

Mengetahui dan Menyetujui

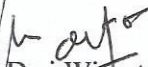
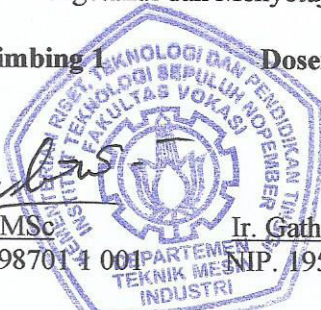
Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2



Ir. Subowo, MSc

NIP. 19581004 198701 1 001



Ir. Gathot/Dwi Winarto, MT

NIP. 19580915 198701 1 001

SURABAYA, JULI 2017

PENGARUH AIR DAN OLI MESRAN SAE 40 TERHADAP HASIL FILM RADIOGRAFI PENGUJIAN TAK RUSAK, MATERIAL PIPA API 5L GRADE B 4 INCH SCH 40

Nama Mahasiswa : Kurniawan Jaya Atmaja Aprilin
NRP : 2114 030 019
Jurusan : Departemen Teknik Mesin
Industri Fakultas Vokasi
Dosen Pembimbing : Ir. Subowo, M.Sc

Abstrak

Pada umumnya dan menjadi kewajiban untuk suatu pekerjaan pipeline akan memerlukan pemeliharaan berkala pada pipa-pipa yang sedang beroperasi menyalurkan fluida ataupun gas, sedangkan dalam pemeliharaan ini tidak mungkin untuk menghentikan proses produksi yang sedang berjalan, karena akan menimbulkan kerugian terhadap perusahaan ketika proses produksi tersebut dihentikan.

Penelitian ini diawali dengan mempersiapkan specimen yaitu pipa API 5L yang dilas tengahnya seperti sambungan las pipeline dan diberi valve untuk memasukan fluida. Kemudian sambungan las diradiografi pada pipa keadaan kosong, berisi air, dan berisi oli. Hasil film radiografi akan berbeda-beda nilai densitasnya karena pengaruh fluida tersebut. Nilai densitas diukur menggunakan densitometer yang ditempelkan pada film yang ditampilkan oleh viewer.

Dari hasil penelitian ini kita dapat mengetahui bahwa hasil film radiografi sambungan pipa yang berisi fluida air dengan nilai densitas weld metal 1.658, base metal 1.816 dan pipa berisi oli dengan nilai densitas weld metal 1.675, base metal 1.798 tidak memenuhi syarat keberterimaan ASME Sec. V. Pada nilai sensitivitas semua film juga tidak memenuhi syarat ASME Sec V.

Kata kunci : Radiografi, fluida, pipeline, densitas, sensitivitas

EFFECT OF WATER AND MESRAN OIL SAE 40 ON RADIOGRAPHIC FILM TEST RESULT, MATERIAL PIPE API 5L GRADE B 4 INCH SCH 40

Name : Kurniawan Jaya Atmaja Aprilin
NRP : 2114 030 019
Major : Department of Mechanical
Engineering Industry Faculty of
Vocation
Counsellor Lecturer : Ir. Subowo, M.Sc

Abstract

In general and an obligation for a pipeline work will require periodic maintenance of operating pipelines that supply fluid or gas, Whereas in this maintenance it is not possible to stop the ongoing production process, as it will cause harm to the company when the production process is stopped.

This research begins by preparing specimens of 5L welded API pipes such as pipeline welded joints and valves to insert fluids. Then the welding joint is radiated to an empty condition, water-filled pipe, and filled with oil. The results of the radiographic film will vary the density value because of the influence of the fluid. The density value is measured using a densitometer attached to the film displayed by the viewer.

From the result of this research we can know that the result of radiography film of pipe joint containing water fluid with density result weld metal value 1.658, base metal 1.816 and pipe containing oil density result weld metal 1.675, base metal 1.798 not qualify acceptance ASME Sec.V. Sensitivity value of all film is 'nt qualify acceptance ASME Sec V.

Keywords: Radiography, fluid, pipeline, density, sensitivity

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, serta atas segala Rahmat dan Karunia-Nya. Sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Penelitian yang berjudul :

**“PENGARUH AIR DAN OLI MESRAN SAE 40
TERHADAP HASIL FILM RADIOGRAFI
PENGUJIAN TAK RUSAK, MATERIAL PIPA API 5L
GRADE B 4 INCH SCHEDULE 40”**

dapat diselesaikan dengan baik.

Laporan ini disusun sebagai salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Program Studi Departemen Teknik Mesin Industri untuk bisa dinyatakan lulus dengan mendapatkan gelar Ahli Madya.

Kiranya penulis tidak akan mampu menyelesaikan Penelitian ini tanpa bantuan, saran, dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. **Bapak Ir. Subowo, MSc.** selaku dosen pembimbing 1 yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan ide, arahan, bimbingan dan motivasi selama pengerjaan Penelitian ini.
2. **Bapak Ir. Gathot Dwi Winarto, MT** selaku dosen pembimbing 2
3. **Bapak Ir. Suhariyanto, MSc** selaku kaprodi Departemen Teknik Mesin Industri.
4. **Bapak Ir. Suhariyanto, MSc** selaku koordinator Penelitian Departemen Teknik Mesin Industri.
5. **Bapak Ir. Arino Anzip, Meng, Sc** selaku Dosen Wali selama di Departemen Teknik Mesin Industri.
6. Tim Dosen Penguji yang telah banyak memberikan saran dan masukan guna kesempurnaan Penelitian ini.

7. Orang tua tercinta Bapak dan Ibu yang selalu memberikan semangat, doa ,serta dukungan dalam bentuk apapun.
8. Tim penguji NDT ANDTECH Bendul Merisi yang telah membantu pengujian dan memberi masukan untuk penelitian.
9. **Pak Ali** yang telah memberikan kesempatan penulis menggunakan tempat kerja untuk melakukan praktikum pengelasan.
10. Rekan – rekan PPNS yang telah membantu penulis selama pengerjaan Penelitian.
11. Teman-teman HMKM **Prima**, HMGL **Faisol** yang menampung saya saat membutuhkan tempat bernaung. **Filianti Suci** dan **Derpina** yang menjadi tim penyemangat. **Andre** partner TA terbaik, **Pak Bowo Pak Gathot Squad**, dan seluruh teman-teman **D3MITS 2014** baik yang celolo dan tidak terima kasih

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Penelitian ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis mengharapkan adanya kritik dan saran dari berbagai pihak, yang dapat mengembangkan Penelitian ini menjadi lebih baik. Akhir kata, semoga Penelitian ini bermanfaat bagi pembaca dan mahasiswa, khususnya mahasiswa Program studi Sarjana Teknik Mesin FTI-ITS dan Departemen Teknik Mesin Industri.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3

BAB II DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Umum Pengelasan.....	5
2.2 SMAW.....	5
2.3 Posisi Pada Pengelasan.....	6
2.4 Heat Input.....	8
2.5 Kodefikasi Elektroda.....	9
2.6 Pengujian Material	10
2.7 Tinjauan umum radiografi.....	11
2.8 Prinsip Radiografi.....	12
2.9 Sumber Radiografi.....	13
2.9.1 X-ray.....	13
2.9.2 Gamma-ray.....	13
2.10 Penyerapan Radiasi Gamma-Ray.....	14
2.10.1 Efek Fotolistrik.....	16

2.10.2 Efek Compton.....	16
2.10.3 Produksi Pasangan	17
2.10.4 Koefisien Atenuasi	18
2.11 Metode Pengujian Radiografi.....	19
2.11.1 <i>Single wall single viewing</i> (SWSV)	19
2.11.1.1 <i>Internal source technique</i>	20
2.11.1.2 <i>Internal film technique</i>	20
2.11.1.3 <i>Panaromic technique</i>	21
2.11.2 <i>Double wall single viewing</i> (DWSV).....	21
2.11.2.1 <i>contact technique</i>	21
2.11.2.2 <i>non contact technique</i>	22
2.11.3 <i>Double wall double viewing</i> (DWDV).....	22
2.11.3.1 <i>Ellips Technique</i>	23
2.11.3.2 <i>Superimposed Technique</i>	23
2.12 Komponen Alat <i>Gamma-Ray</i>	24
2.12.1 Pesawat <i>gamma-ray</i>	24
2.12.2 Sumber <i>radiosotop</i>	25
2.12.3 Kapsul <i>Pig Tail</i>	25
2.13 <i>Film Radiografi</i>	26
2.14 Klasifikasi Jenis <i>Film</i>	27
2.15 Pemilihan <i>Film Radiografi</i>	28
2.16 Pengekapan <i>Film Radiografi</i>	29
2.17 Penanganan <i>Film Radiografi</i>	31
2.18 Pemrosesan <i>Film Radiografi</i>	32
2.18.1 <i>Developer</i>	32
2.18.2 <i>Stop bath</i>	33
2.18.3 <i>Fixer</i>	33
2.19 Cacat <i>Film Radiografi</i>	35
2.20 Pemilihan <i>Image Quality indicator</i>	35
2.21 Pemilihan <i>Wire Identity</i> dan <i>Wire Diameter</i>	36
2.22 <i>Unsharpness Geometric</i>	37
2.23 <i>Source Film Distance</i> (SFD).....	39
2.24 Sensitivitas <i>Film Radiografi</i>	39
2.25 Densitas <i>Film Radiografi</i>	41
2.26 <i>Contrast</i>	42
2.26.1 Subyek <i>Contrast</i>	42

2.26.2 Film Contrast.....	43
2.27 Definition	43
2.28 <i>Lattitude</i>	44

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian.....	45
3.2 Waktu Pelaksanaan Penelitian.....	46
3.3 Tempat	46
3.4 Langkah kerja	46
3.5 Studi Literatur	46
3.6 Persiapan Alat dan Spesimen.....	46
3.6.1 Material.....	47
3.6.2 Mesin las <i>shielded metal arc welding</i>	49
3.6.3 Gerinda tangan.....	50
3.6.4 <i>Welding gauge</i>	50
3.6.5 Mesin radiografi <i>gamma-ray</i>	51
3.6.6 <i>Lead marker</i>	52
3.6.7 Penetrameter	52
3.6.8 Meteran.....	53
3.6.9 Produk las.....	53
3.6.10 Pencucian <i>film</i>	54
3.6.11 <i>Viewer</i>	54
3.6.12 Densitometer.....	55
3.7 <i>Exposure Chart</i>	55
3.7.1 Pengukuran tebal pipa.....	56
3.7.2 Menentukan tebal pipa.....	57
3.8 <i>Source Film Distance</i>	58
3.9 Menentukan Teknik Penyinaran	59
3.10 Sumber Radiasi	59
3.11 Penentuan <i>Film</i>	59
3.12 Penentuan <i>Source Film Distance</i> Minimal.....	60
3.13 Penentuan <i>Exposure Time</i>	61
3.14 Perhitungan <i>Unsharpness Geometric</i>	62
3.15 Fluida Pengisi Pipa	63
3.15.1 Air.....	63
3.15.2 Oli Mesran SAE 40.....	63

3.16 Sudut Penempelan <i>Film</i>	63
3.17 Metode Pengambilan Data Nilai Densitas	64

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Parameter Pengelasan.....	65
4.2 Proses Radiografi Pipa Kosong.....	66
4.3 Proses Radiografi Pipa Penuh Air	66
4.4 Proses Radiografi Pipa Penuh Oli	67
4.5 Pencucian Film Radiografi	67
4.6 Hasil Densitas.....	68
4.7 Hasil Sensitivitas	70
4.8 Hasil Film	71
4.8.1 Pipa Kosong	71
4.8.2 Pipa penuh Air	73
4.8.3 Pipa Penuh Oli	74
4.9 Analisa Hasil Densitas dan Sensitivitas.....	75
4.9.1 Efek Fotolistrik	76
4.9.2 Efek Compton.....	76
4.9.3 Efek Produksi Pasangan	77
4.9.4 Koefisien Atenuasi Linier	77

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	79
5.2 Saran.....	79

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sistem las SMAW	6
Gambar 2.2	Posisi pengelasan 1G.	6
Gambar 2.3	Posisi pengelasan 2G.	7
Gambar 2.4	Posisi pengelasan 5G.	7
Gambar 2.5	Posisi pengelasan 6G.	8
Gambar 2.6	Skema pengujian radiografi	12
Gambar 2.7	<i>Foton energy electron volts</i>	14
Gambar 2.8	Panjang gelombang	15
Gambar 2.9	Efek <i>fotolistrik</i>	16
Gambar 2.10	Efek <i>Compton</i>	17
Gambar 2.11	Efek Produksi Pasangan	18
Gambar 2.12	Koefisien Atenuasi	19
Gambar 2.13	<i>Internal Source Image</i>	20
Gambar 2.14	<i>Internal Film Technique</i>	20
Gambar 2.15	<i>Paranomic Technique</i>	21
Gambar 2.16	<i>Contact Technique</i>	22
Gambar 2.17	<i>Non Contact Technique</i>	22
Gambar 2.18	<i>Ellips Technique</i>	23
Gambar 2.19	<i>Superimpised Technique</i>	24
Gambar 2.20	Pesawat gamma-ray	25
Gambar 2.21	Radiostop	25
Gambar 2.22	Kapsul Pig Tail	26
Gambar 2.23	Radiografi film	26
Gambar 2.24	Penyusun film radiografi	27
Gambar 2.25	Struktur film lambat dan cepat	29
Gambar 2.26	<i>Cassete film</i>	30
Gambar 2.27	Film <i>holder</i> dan kaset	31
Gambar 2.28	Skema aliran pemrosesan film radiografi	34
Gambar 2.29	Penumbra	38
Gambar 2.30	<i>Source Film Distance</i>	39
Gambar 2.32	<i>Wire image quality indicator</i>	40
Gambar 2.33	<i>High and low contrast</i>	42
Gambar 2.34	<i>High and low definition</i>	43
Gambar 2.35	<i>Stepwedge beserta latitude</i>	44
Gambar 3.1	<i>Flow chart diagram</i>	45

Gambar 3.2	Dimensi pipa NPS 4 <i>schedule</i> 40	47
Gambar 3.3	Dimensi <i>bevel</i> persiapan pengelasan.....	47
Gambar 3.4	Pipa dengan <i>bevel</i> 30°	48
Gambar 3.5	Mesin las dan tang amper	49
Gambar 3.6	Hasil proses pengelasan.....	49
Gambar 3.7	Gerinda tangan	50
Gambar 3.8	Welding gauge.....	51
Gambar 3.9	Kamera radiografi gamma ray	51
Gambar 3.10	<i>Lead marker</i>	52
Gambar 3.11	Penetrameter.....	52
Gambar 3.12	Alat ukur (penggaris).....	53
Gambar 3.13	Dimensi penyambungan spesimen.....	53
Gambar 3.14	<i>Viewer film</i> radiografi.....	54
Gambar 3.15	Densitometer	55
Gambar 3.16	<i>Exposure chart</i> Ir-192.....	56
Gambar 3.17	Pengukuran material.....	57
Gambar 3.18	<i>Screen</i> beserta <i>holder film</i>	60
Gambar 3.19	Penjelasan rumus U_g	62
Gambar 3.20	Penempatan <i>Film</i>	64
Gambar 3.21	Pengambilan nilai densitas.....	64
Gambar 4.1	Interpretasi Pipa Kosong.....	66
Gambar 4.2	Interpretasi Pipa Penuh Air.....	66
Gambar 4.3	Interpretasi Pipa Penuh Oli	67
Gambar 4.4	Bagan hasil densitas	69
Gambar 4.5	Hasil gambar Pipa Kosong Posisi 0-5	71
Gambar 4.6	Hasil gambar Pipa Kosong Posisi 5-10	72
Gambar 4.7	Hasil gambar Pipa Kosong Posisi 10-0	72
Gambar 4.8	Hasil gambar Pipa Air Posisi 0-5.....	73
Gambar 4.9	Hasil gambar Pipa Air Posisi 5-10.....	73
Gambar 4.10	Hasil gambar Pipa Air Posisi 10-0.....	74
Gambar 4.11	Hasil gambar Pipa Oli Posisi 0-5.....	74
Gambar 4.12	Hasil gambar Pipa Oli Posisi 5-10	75
Gambar 4.13	Hasil gambar Pipa Oli Posisi 10-0.....	75
Gambar 4.14	Koefisien atenuasi.....	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik Digit Keempat Tipe Selaput.....	10
Tabel 2.2	Klasifikasi film menurut standart.....	28
Tabel 2.3	Pemilihan <i>image quality indicator</i>	36
Tabel 2.4	<i>Wire IQI designation, wire diameter and wire identity</i>	36
Tabel 2.5	<i>Unsharpness geometric limination</i>	37
Tabel 3.1	Logam induk dan pengisi.....	48
Tabel 3.2	Parameter pengelasan.	48
Tabel 3.3	Rumus perhitungan tebal keseluruhan.	57
Tabel 3.4	Karakteristik Oli Mesran.....	63
Tabel 4.1	Logam induk uji.	65
Tabel 4.2	Parameter pengelasan.....	65
Tabel 4.3	<i>Heat input</i>	65
Tabel 4.4	Lama waktu pemosesan film.....	68
Tabel 4.5	Hasil densitas pipa kosong.....	68
Tabel 4.6	Hasil densitas pipa penuh air.	68
Tabel 4.7	Hasil densitas pipa penuh oli.....	69
Tabel 4.6	Hasil sensitifitas pada konsisi normal.	70

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam menjaga kualitas dan standar suatu instalasi atau konstruksi memerlukan suatu pemeriksaan pada tahap sebelum, sesudah dan juga saat beroperasi. Suatu bahan dengan berjalannya waktu sedikit demi sedikit akan mengalami perubahan dimana bahan tersebut menjadi tidak memenuhi standar kelayakan. Maka diperlukanlah tindakan inspeksi, untuk menentukan kelayakan suatu konstruksi khususnya dalam rangka perawatan.

Teknik radiografi banyak dipilih untuk mengetahui kondisi suatu konstruksi atau instalasi, karena teknik ini akan menggambarkan secara jelas (*imaging*) kondisi bahan yang diinspeksi. Teknik ini banyak digunakan dalam dunia fabrikasi terutama pada sambungan konstruksi bangunan, *boiler*, *pressure vessel*, dan *pipeline*. Pada umumnya dan menjadi kewajiban untuk suatu pekerjaan *pipeline* akan memerlukan pemeliharaan berkala pada pipa-pipa yang sedang beroperasi menyalurkan *fluida* ataupun *gas*, sedangkan dalam pemeliharaan ini tidak mungkin untuk menghentikan proses produksi yang sedang berjalan, karena akan menimbulkan kerugian terhadap perusahaan ketika proses produksi tersebut dihentikan.

Dengan adanya kebutuhan inspeksi berkala untuk memastikan kualitas, keamanan dan keselamatan suatu *pipeline*. Digunakanlah suatu metode inspeksi dengan menggunakan pengujian radiografi yang dimana metoda ini tidak mengganggu jalannya produksi untuk melakukan suatu tindakan inspeksi. Beberapa syarat keberterimaan suatu *standart film* radiografi adalah densitas *film* dan sensitivitas *film* kedua faktor ini akan berpengaruh sejalan dengan semakin jauh *source film distance* dan lama atau tidaknya *exposure time*. Source film distance yang

berubah-ubah juga dapat mempengaruhi sensitivitas dan densitas film seperti penelitian yang dilakukan oleh teman saya Andre Trimulya. Jika kita melakukan interpretasi dengan sesuai *standart* yang ada yaitu pipa harus dalam keadaan kosong. Tetapi bagaimana jika pipa tersebut berisi *fluida* seperti air dan oli seperti pada *pipeline* perusahaan *oil and gas* atau pembangkit yang tidak mungkin proses produksi harus dihentikan. Bagaimana efek fluida yang ada dalam *pipeline* tersebut pada hasil radiografi khususnya densitas dan sensitivitas *film* yang terbentuk.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang maka perumusan masalah yang akan dikemukakan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh *fluida* terhadap nilai densitas dan sensitivitas pada hasil *film* radiografi pipa.

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah maka tujuan penelitian yang akan dikemukakan adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh *fluida* pada hasil *film* radiografi dengan kondisi pipa berisi *fluida* pada inspeksi radiografi terhadap nilai densitas dan sensitivitas.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini menjadi terarah dan memberikan kejelasan analisis permasalahan, maka dilakukan pembatasan permasalahan sebagai berikut:

1. Material API 5L *seamless grade B schedule 40*
2. Proses penyambungan pipa menggunakan pengelasan SMAW
3. Filler las menggunakan elektroda E8018 B2
4. Menggunakan *gamma-ray* Ir-192

5. Menggunakan metode *film side*
6. Menggunakan *wire IQI* ASTM SET 1A
7. DWSV (*contact*)
8. Hanya mengambil gambar *film* pipa pada sudut 0°
9. *Film* pendek tipe sedang AGFA *structurix* D7
10. *Fluida* tidak mengalir dan tidak bertekanan
11. Temperatur *fluida* diabaikan
12. Menganalisa hasil film berdasarkan ASME Sec.V 2010.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian yang akan dilakukan:

1. Sebagai wadah penerapan teori dan praktek selama perkuliahan yang berkaitan dengan *non destructive test*.
2. Hasil yang didapatkan bisa menjadi bahan pertimbangan untuk penggunaan dalam pengaplikasian pengujian radiografi.

1.6 Sistematika Penulisan Laporan

Dalam laporan Tugas Akhir ini, sistematika penulisan yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Bab I Pendahuluan

Bab ini menjelaskan latar belakang, tujuan, manfaat, rumusan masalah, batasan masalah, dan sistematika penulisan dari penelitian ini.

- Bab II Dasar Teori

Bab ini berisi teori-teori dari berbagai referensi yang selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam melaksanakan penelitian dan

penyusunan tugas akhir.

- Bab III Metodologi Penelitian

Bab ini terdiri dari tahapan yang digunakan dalam melaksanakan penelitian dan penyusunan tugas akhir.

- Bab IV Pembahasan

Bab ini terdiri dari pembahasan pengaruh dari fluida terhadap *sensitivitas* dan *densitas* film hasil interpretasi radiografi.

- BAB V Kesimpulan

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian dan Analisa yang telah dilakukan juga saran untuk pengoprasian penelitian selanjutnya.

BAB II

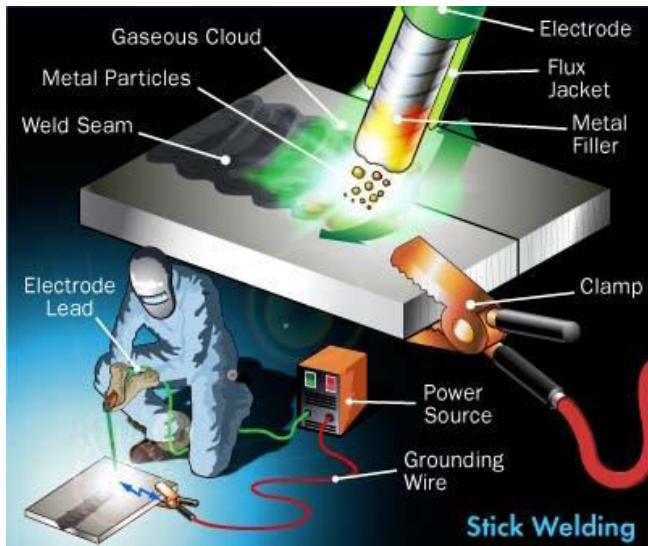
DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Umum Pengelasan

Pengelasan (*Welding*) adalah penyambungan dua atau lebih bahan dengan cara memanaskan permukaan sampai mencair dengan atau tanpa logam pengisi (*filler*) dan dengan atau tanpa tekanan. Dari definisi tersebut terdapat 3 kata kunci untuk menjelaskan definisi pengelasan yaitu mencairkan logam, logam pengisi, dan tekanan. Proses penyambungan lain yang telah dikenal lama selain pengelasan adalah penyambungan dengan cara *Brazing* dan *Soldering*. Perbedaannya dengan pengelasan adalah tidak sampai mencairkan logam induk tetapi hanya logam pengisinya saja. Sedangkan perbedaan antara *Brazing* dan *Soldering* adalah pada titik cair logam pengisinya. Proses *Brazing* berkisar $450^{\circ}\text{C} - 900^{\circ}\text{C}$, sedangkan untuk *Soldering*, titik cair logam pengisinya kurang dari 450°C .

2.2 Shielded Metal Arc Welding (SMAW)

SMAW adalah suatu proses las busur manual dimana panas dari pengelasan dihasilkan oleh busur listrik antara elektroda dengan benda kerja. Bagian ujung elektroda, busur, cairan logam las dan daerah-daerah yang berdekatan dengan benda kerja, dilindungi dari pengaruh atmosfer oleh gas pelindung yang terbentuk dari hasil pembakaran lapisan pembungkus elektroda. Perlindungan tambahan untuk cairan logam las diberikan oleh cairan logam *flux* atau *slag* yang terbentuk. Proses pengelasan dengan proses SMAW dibedakan berdasarkan jenis arusnya meliputi arus *AC* dan *DC*, dimana arus *DC* dibedakan atas *DCEN* (*straight polarity* atau polaritas langsung) dan *DCEP* (*reverse polarity* atau polaritas terbalik). *Filler* atau logam tambahan disuplai oleh inti kawat elektroda terumpan atau pada elektroda, elektroda tertentu juga berasal dari serbuk besi yang dicampur dengan lapisan pembungkus elektroda. Serta setiap kawat las memiliki dimensi dan karakter tertentu untuk membantu mempermudah menyamakan dengan logam yang akan disambung.

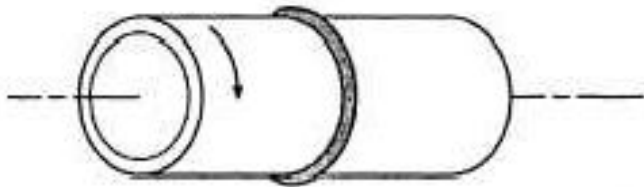


Gambar 2.1 Las SMAW

2.3 Posisi Pada Pengelasan

Posisi pada pengelasan atau sikap pengelasan adalah pengaturan posisi dan gerakan arah dari pada elektroda sewaktu mengelas. Adapun posisi terdiri dari 4 macam, yaitu:

- Posisi (1G)



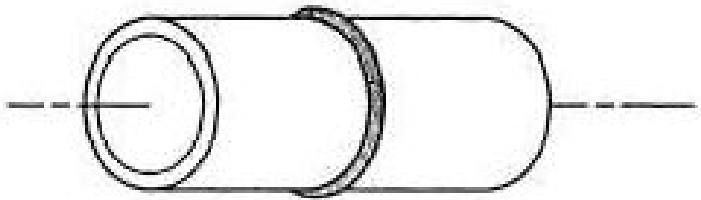
Gambar 2.2 Posisi pengelasan 1G

- Posisi (2G)



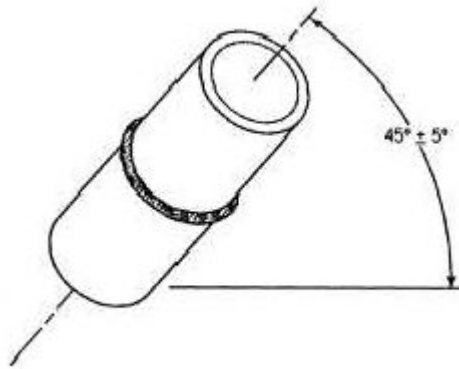
Gambar 2.3 Posisi pengelasan 2G

- Posisi (5G)
Horizontal dan tidak berputar



Gambar 2.4 Posisi pengelasan 5G

- Posisi (6G)
Posisi dengan kemiringan



Gambar 2.5 Posisi pengelasan 6G

2.4 Heat Input

Heat Input adalah besarnya energi panas setiap satuan panjang las ketika sumber panas (yang berupa nyala api, busur listrik, plasma atau cahaya energi tinggi bergerak). Pada pengelasan busur listrik, sumber energi berasal dari listrik yang diubah menjadi energi panas. Energi panas ini sebenarnya hasil perpaduan dari arus listrik pengelasan, tegangan (voltase) listrik pengelasan, dan kecepatan pengelasan, menghasilkan energi panas yang dikenal dengan masukan panas (*heat input*). Kecepatan pengelasan ikut mempengaruhi energi panas pengelasan, karena proses pengelasan tidak diam ditempat, tetapi bergerak dengan kecepatan tertentu.

Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh energi panas yang berarti dipengaruhi tiga parameter yaitu arus las, tegangan las dan kecepatan las. Hubungan antara ketiga parameter itu menghasilkan energi pengelasan yang sering disebut *heat input*. Persamaan dari *heat input* hasil dari penggabungan ketiga parameter dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\text{Heat Input : } \mathbf{HI} = \frac{V \times I \times 60}{s}$$

Dimana: HI = Masukan panas atau energi (J/mm)

I = Arus (Ampere)

V = Voltase (Volt)

s = Kecepatan pengelasan (mm/s)

Dari persamaan itu dapat dijelaskan beberapa pengertian antara lain, jika kita menginginkan masukan panas yang tinggi maka parameter yang dapat diukur yaitu arus las dapat diperbesar atau kecepatan las diperlambat. Besar kecilnya arus las dapat diukur langsung pada mesin las. Tegangan las umumnya tidak dapat diatur secara langsung pada mesin las, tetapi pengaruhnya terhadap masukan panas tetap ada.

2.5 Kodefikasi Elektroda

Elektroda terdiri dari dua jenis bagian yaitu bagian yang bersalut (*flux*) dan tidak bersalut yang merupakan bagian untuk menjepitkan tang las. Fungsi *flux* atau lapisan elektroda dalam las adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur, sumber unsur paduan.

Bahan elektroda harus mempunyai kesamaan sifat dengan logam. Pemilihan elektroda harus benar-benar diperhatikan apabila kekuatan las diharuskan sama dengan kekuatan material. Penggolongan elektroda diatur berdasarkan standart sistem *AWS* (*American Welding Society*) dan *ASTM* (*American Society Testing Material*).

Adapun kodefikasi dari elektroda sebagai berikut:

Contoh : E 8018-B2

E : Menyatakan elektroda busur listrik.

80 : (dua angka) sesudah E menyatakan kekuatan tarik deposit las dalam ksi.

1 : (angka ketiga) menyatakan posisi pengelasan.

8 : (angka keempat) menyatakan jenis selaput atau gas pelindung dan jenis arus yang cocok dipakai untuk pengelasan.

B2 : Menyatakan unsur yang terkandung dalam logam pengisi dari filler

Tabel 2.1 Karakteristik Digit Keempat Tipe Selaput dan Arus Listrik

Angka	Sumber Arus		Polaritas Elektroda		Unsur Pembentuk	Daya Tembus	Kadar Serbuk Besi
1	AC	DC	+		Cellulose potasium	Kuat	
2	AC	DC		-	Rutile Sodium	Medium	0-10%
3	AC	DC	+	-	Rutile Potasium	Lunak	0-10%
4	AC	DC	+	-	Rutile Iron Powder	Lunak	30-50%
5		DC	+		Low Hydrogen Sodium	Medium	
6	AC	DC		-	Low Hydrogen Potassium	Medium	
7	AC	DC	+	-	Iron Oxyde, Iron Powder	Lunak	50%
8	AC	DC	+		Low Hydrogen, Iron Powder	Medium	30-50%

2.6 Pengujian Material

Proses pengujian material adalah proses pemeriksaan bahan-bahan untuk diketahui sifat dan karakteristiknya yang meliputi sifat mekanik, sifat fisik, bentuk struktur mikro dan

makro. Adapun proses pengujiannya dikelompokkan ke dalam tiga kelompok metode pengujian, yaitu :

1. DT (*Destructive Test*), yaitu adalah proses pengujian logam yang dapat menimbulkan kerusakan pada logam yang diuji.
2. NDT (*Non Destructive Test*), yaitu proses pengujian logam yang tidak menimbulkan kerusakan pada logam atau benda yang diuji.
3. *Metallography*, yaitu proses pemeriksaan logam tentang komposisi kimianya, unsur-unsur yang terdapat di dalamnya, dan bentuk strukturnya.

2.7 Tinjauan Umum Radiografi

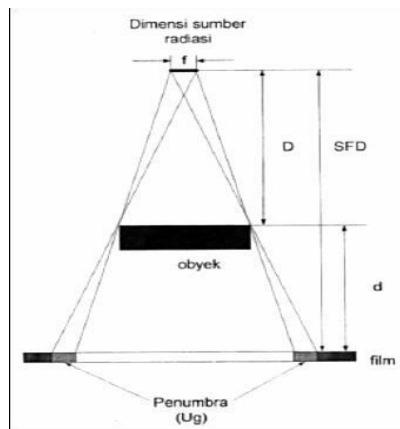
Sejarah pengujian radiografi melibatkan dua langkah awal yang penting bagi dunia. Pertama penemu sinar-x oleh Wilhelm Conrad Roentgen pada tahun 1895 dan kedua penemuan bahan radioaktif baru yang disebut radium oleh Marie dan Pierre Curie yang diumumkan pada desember 1898. Pengujian radiografi merupakan salah satu metoda yang digunakan dalam pengujian tanpa merusak atau *Non Destructive Test* (NDT). Yang dimaksud dengan pengujian tanpa merusak adalah pengujian material dengan tidak merusak material ataupun suatu konstruksi yang diuji, baik sifat fisik maupun kimia dari material tersebut.

Pengujian radiografi adalah teknik mendapatkan suatu gambar bayangan dari benda padat dengan menggunakan daya tembus radiasi x-ray ataupun gamma-ray. Gambar yang didapat merupakan bentuk proyeksi benda tersebut tanpa rincian kedalamannya. Gambar direkam dalam *film* yang disebut radiograf atau bisa kita sebut *film* radiografi. Suatu kontras radiografi disebabkan pada perbedaan dalam kemampuan penyerapan radiasi dalam hal ini x-ray ataupun gamma-ray dan perbedaan tebal benda uji, perbedaan susunan kimia, densitas yang tidak homogen, cacat, diskontinuitas atau proses hamburan didalam benda uji. Radiasi yang digunakan, diproyeksikan

terhadap benda uji untuk mendapatkan kontras dan *definition* yang baik pada suatu bidang gambar. Selanjutnya, *film* radiografi diperlukan untuk merekam bayangan dalam kondisi yang aman.

2.8 Prinsip Radiografi

Uji radiografi terdiri dari tiga komponen utama yaitu sumber radiasi, media perekam, dan media pengaman sumber. Ketika sebuah sumber memancarkan suatu radiasi dan menembus material, radiasi akan mengalami perbedaan penyerapan oleh material tersebut. Perbedaan penyerapan oleh material disebabkan karena adanya perbedaan rapat jenis, ketebalan, atau perbedaan karakteristik penyerapan karena perbedaan komposisi. Radiasi yang melewati bagian mengekspos *film* dan membentuk shadowgraph bagian. Tingkat densitas akan bervariasi dengan jumlah radiasi yang mencapai *film* melalui tes objek dimana daerah gelap menunjukkan lebih banyak paparan dan dimana daerah terang menunjukkan kurang paparan. Variasi dalam densitas dapat digunakan untuk menentukan ketebalan atau komposisi bahan. Perbedaan penyerapan ini dapat diamati dengan mendeteksi radiasi transmisi perekam, dalam pengujian radiografi bagian yang akan diperiksa ditempatkan antara sumber radiasi dan media perekam.



Gambar 2.6 Skema pengujian radiografi

2.9 Sumber Radiografi

Dalam pengembangan ilmu *Non Destructive Test* (NDT) dengan salah satu metodenya yaitu pengujian radiografi memiliki 2 macam sumber yaitu sinar-x dan sinar- γ :

2.9.1 X-ray

Sinar-x dapat dihasilkan dengan menumbukkan elektron yang dilepaskan oleh katoda pada anoda di dalam suatu tabung hampa udara. Sifat-sifat sinar-x yang dihasilkan sangat tergantung pada tegangan dan arus dari tabung, makin tinggi tegangannya makin besar daya tembus dari sinar-x yang dihasilkan. Sedangkan arus tabung yang besar akan mempertinggi intensitas sinar-x.

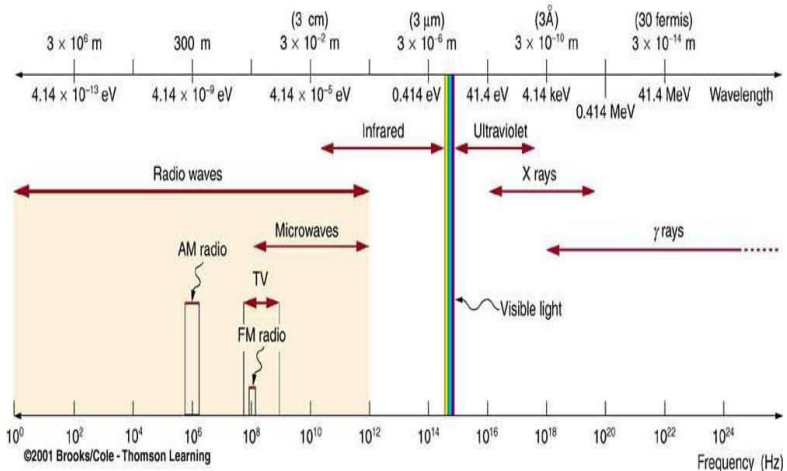
2.9.2 Gamma-ray

Unsur – unsur tidak stabil yang juga disebut radioisotop dalam proses menuju kestabilanya akan memancarkan gelombang elektromagnet yang dinamakan sinar – γ . Karena pemancarannya ini maka radioisotop makin lama makin lemah. Waktu yang dijalani sehingga kekuatan penyinarannya menjadi setengahnya disebut waktu setengah umur. Untuk keperluan pengujian tidak merusak dengan sendirinya harus menggunakan radioisotop yang mempunyai waktu setengah umur beberapa hari. Dalam hal ini biasanya digunakan isotop- isotop cobalt (Co) dan iridium (Ir). Karena radioisotop selalu memancarkan sinar- γ maka apabila tidak dipakai harus di simpan dalam tabung pelindung yang terbuat dari timbal dan paduan wolfram.

Pemancaran sinar- γ dapat dilakukan dengan tiga cara yaitu pemancaran satu arah yang dilakukan dengan membuka tutup tabung pelindung, pemancaran silinder yang dilakukan dengan membuka pelindung dinding tabung, dan pancaran ke segala arah dengan meletakkan radioisotop pada tempat tanpa memakai tabung pelindung.

2.10 Penyerapan Radiasi Gamma-Ray dan Materi

Interaksi radiasi *gamma-ray* dengan materi sangat kecil sehingga memiliki daya tembus yang jauh lebih besar dibandingkan dengan radiasi *alfa* dan radiasi *beta*. *Gamma-ray* merupakan gelombang elektromagnetik yang membawa energi dalam bentuk paket-paket yang disebut *foton*, jika *gamma-ray* masuk ke dalam suatu bahan selain menembus bahan tersebut *gamma-ray* juga mengionisasi bahan tersebut walaupun hanya dalam jumlah kecil. Saat menembus benda, banyak penyerapan di suatu lokasi tergantung pada ketebalan dan densitas pada lokasi tersebut. Apabila variasi tersebut dideteksi dan direkam pada *film*, maka memungkinkan pencitraan struktur bagian dalam material. Citra laten yang dihasilkan pada *film* akan menjadi gambar banyangan specimen apabila *film* tersebut diproses.



Gambar 2.7 Foton energy electron volts

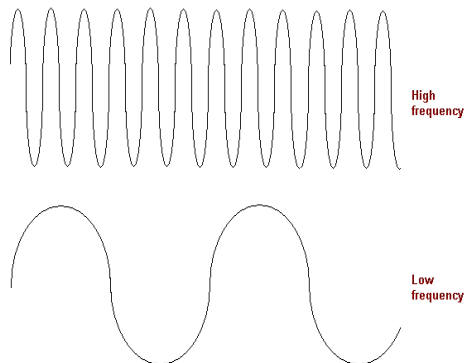
Spektrum gelombang disusun berdasarkan frekuensi gelombang. Gelombang dengan frekuensi terendah ada dibagian

paling kiri Gambar 2.7 sedangkan gelombang dengan frekuensi tertinggi ada pada sebelah kanan Gambar 2.7.

Mengingat cahaya tampak dan X-ray atau gamma-ray adalah spectrum elektromagnetik, mereka memiliki banyak kesamaan yaitu:

1. Merambat dalam kecepatan cahaya (3×10^8 M/s)
2. Merambat dalam garis lurus
3. Tidak terpengaruh oleh medan magnet
4. Akan mengekspose *film* fotografi

Panjang gelombang didefinisikan sebagai jarak antara dua puncak gelombang. Gelombang-gelombang tersebut panjangnya bervariasi. Beberapa gelombang radio bermil-mil panjangnya, sedangkan X-ray dan gamma-ray panjang gelombangnya diukur dalam satuan “Angstrom” 10^{-8} cm.



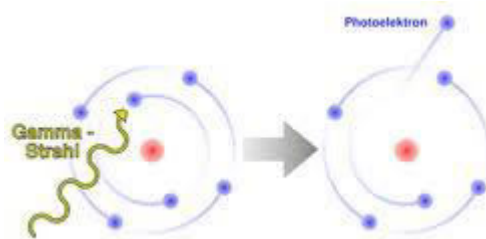
Gambar 2.8 Panjang gelombang

Frekuensi dapat dijelaskan sebagai banyaknya gelombang elektromagnetik yang melalui sebuah titik tertentu dalam satu detik. Semua gelombang elektromagnetik merambat dengan kecepatan yang sama, frekuensi diukur dalam satuan siklus perdetik, satu siklus gelombang lengkap adalah dari lembah ke lembah atau puncak ke puncak.

Besar frekuensi dan panjang gelombang elektromagnetik adalah berbanding terbalik secara proposional. Ini berarti apabila salah satu diperbesar yang lainnya berkurang secara proporsional, melipatgandakan salah satunya akan mengurangi yang lain menjadi setengahnya. Macam-macam interaksi utama *gamma-ray* dapat kehilangan energi ketika melewati suatu bahan.

2.10.1 Efek Fotolistrik

Peristiwa terlepasnya elektron orbital suatu atom karena interaksi dengan radiasi γ dinamakan efek fotolistrik. Elektron yang dilepaskan pada peristiwa tersebut disebut fotoelektron, dan energi geraknya adalah selisih antara energi ionisasi elektron orbital dan energi radiasi γ . Pada saat energi radiasi γ kecil, kebanyakan fotoelektron terlepas dengan arah tegak lurus pada arah radiasi, tetapi bila energinya besar maka fotoelektron terpancar ke arah depan dalam jumlah yang banyak. Secara teori, semakin besar ikatan antara elektron dan inti atom maka semakin besar persentase terjadinya efek fotolistrik; untuk elektron pada kulit K akan terjadi efek fotolistrik sebesar kira-kira 80%.

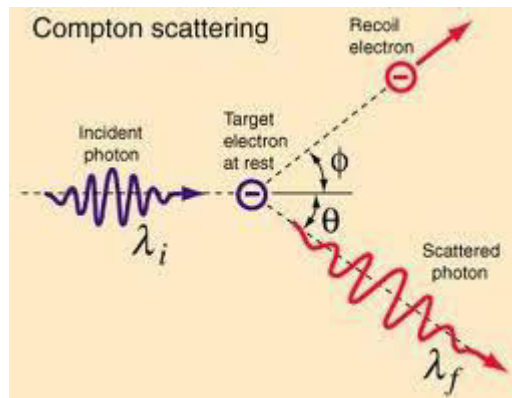


Gambar 2.9 Efek fotolistrik

2.10.2 Efek Compton

Peristiwa terjadinya tumbukan antara foton dan elektron dalam suatu atom yang mengakibatkan sebagian energi foton menjadi energi gerak elektron dan sebagian energi hamburan

foton disebut efek Compton. Bila energi foton cukup besar, efek Compton dapat terjadi pada elektron orbital yang energi ikatnya dapat diabaikan. Selanjutnya, seperti diperlihatkan pada gambar 2.10, elektron dianggap sebagai elektron bebas, energi dan momentumnya sama besar sebelum dan sesudah bertumbukan. Dalam hal ini terjadi tumbukan elastis sempurna antara foton dan elektron. Koefisien atenuasi pada efek Compton ialah jumlah dari perbandingan energi gerak elektron antibonding dan perbandingan energi hamburan foton. Koefisien atenuasi pada efek Compton sebanding dengan nomor atom materi.

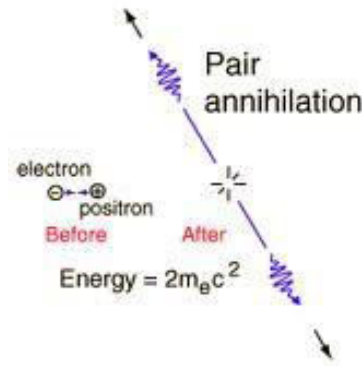


Gambar 2.10 Efek Compton

2.10.3 Produksi Pasangan

Pada waktu foton yang berenergi lebih dari 1,02 MeV menembus materi dan mendekati inti atom, karena pengaruh medan listrik yang kuat dari inti atom, foton berubah dan membentuk satu pasangan yaitu positron dan elektron yang masing-masing berenergi sebesar 0,51 MeV. Peristiwa ini disebut produksi pasangan. Energi sebesar 1,02 MeV ini disebut nilai batas ambang produksi pasangan. Jumlah koefisien atenuasi radiasi γ pada produksi pasangan makin bertambah bersamaan

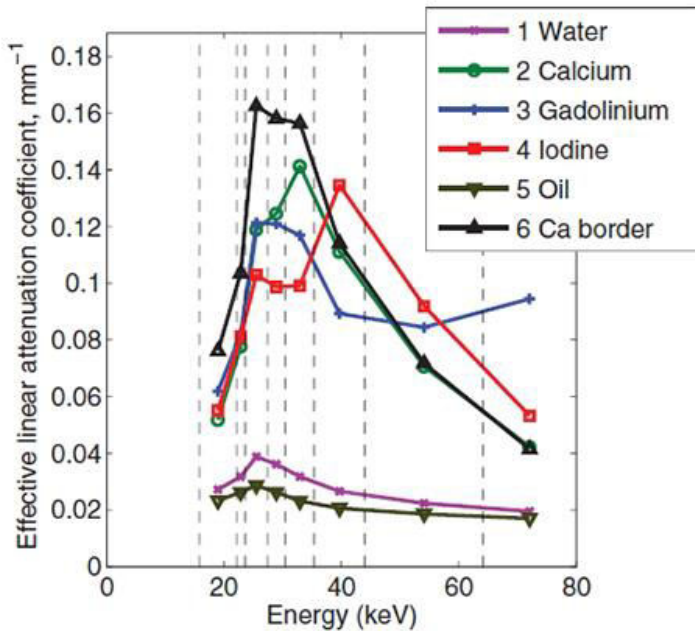
dengan bertambahnya energi foton, di sisi lain juga sebanding dengan $Z(Z+1)$ dari materi. Jumlah koefisien atenuasi efek fotolistrik, efek Compton dan produksi pasangan disebut koefisien atenuasi linear.



Gambar 2.11 Efek produksi pasangan

2.10.4 Koefisien Atenuasi

Jika radiasi γ atau radiasi-X menembus materi, maka akan terjadi interaksi dengan materi dan mengalami pengurangan energi. Atenuasi karena interaksi adalah proses pengurangan energi foton atau perubahan arah foton. Rasio atenuasi foton dalam materi yang tebalnya 1 cm disebut koefisien atenuasi (μ). Pada umumnya, semakin besar energi foton, semakin besar juga nilai μ -nya. Oleh karena itu, daya tembus foton dalam materi semakin besar bila panjang gelombangnya semakin pendek. Pada materi tertentu, koefisien atenuasi dapat berubah berdasarkan rapat jenis materi tersebut, disebut koefisien atenuasi massa (μ_m). Untuk materi tertentu, koefisien atenuasi massa yang hanya berhubungan dengan panjang gelombang foton, dan merupakan rasio atenuasi foton dengan luasan 1 cm² dan massa 1 g.



Gambar 2.12 Koefisien atenuasi

2.11 Metode Pengujian Radiografi

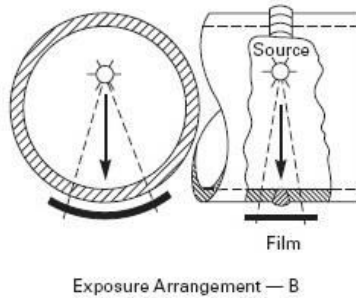
Dalam pengujian radiografi ini memiliki berbagai ragam metode bentuk pengujian sesuai kebutuhan dan kondisi suatu konstruksi ataupun produk untuk mempermudah dalam melakukan pengujian radiografi tersebut yaitu:

2.11.1 *Single wall single viewing* (SWSV)

Teknik penyinaran dengan melewati radiasi pada suatu dinding las benda uji dan pada *film* tergambar satu bagian dinding las untuk di interpretasi. Teknik *single wall single viewing* meliputi:

2.11.1.1 *Internal source technique*

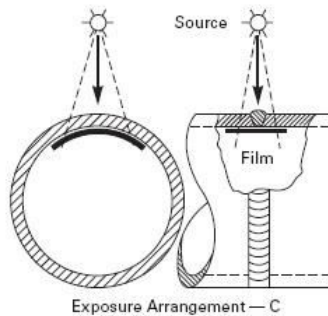
Teknik ini dapat dilakukan dengan meletakkan sumber radiasi di dalam benda uji dan *film* di luar benda uji seperti ditunjukkan pada Gambar 2.13 berikut.



Gambar 2.13 *Internal source image*

2.11.1.2 *Internal film technique*

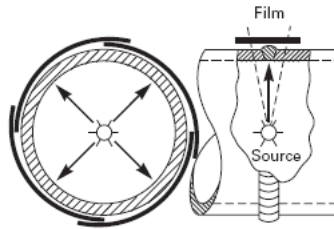
Film di dalam benda uji dan sumber radiasi di luar benda uji. Biasanya teknik ini dilakukan ketika benda uji cukup besar dimana diameter dalam benda uji minimal sama dengan source *film* distance minimal dan ada akses masuk ke dalam pipa, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.14 berikut.



Gambar 2.14 *Internal film technique*

2.11.1.3 Panoramic technique

Teknik ini dilakukan dengan menempatkan sumber di sumbu benda uji untuk mendapatkan *film* hasil radiografi sekeliling benda uji dengan sekali penyinaran, seperti yang di tunjukkan Gambar 2.15 berikut.



Exposure Arrangement — A

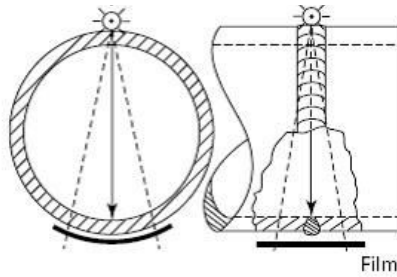
Gambar 2.15 Panoramic technique

2.11.2 Double wall single viewing (DWSV)

Metode double wall single viewing ini diterapkan pada benda uji berupa pipa dengan diameter lebih dari 100 mm. Posisi sumber sedemikian rupa sehingga radiasi melalui dua dinding las sedangkan pada *film* hanya tergambar satu dinding las yang dekat dengan *film* untuk diinterpretasi. Teknik double wall single viewing meliputi:

2.11.2.1 Contact technique

Teknik ini dilakukan dengan melekatkan sumber ke permukaan lasan benda uji. Diameter luar benda uji besarnya minimal sama atau lebih besar dari source *film* distance minimal untuk bisa dilakukan tehnik ini. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.16 berikut.

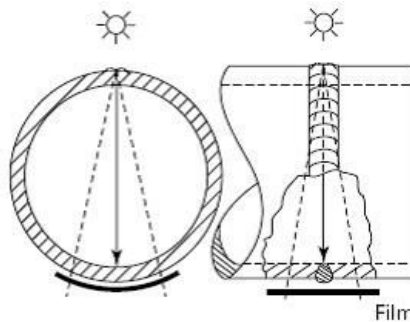


Exposure arrangement – D

Gambar 2.16 *Contact technique*

2.11.2.2 *Non contact technique*

Teknik ini dilakukan jika diameter benda uji besarnya lebih kecil dari *source film distance* minimal maka penempatan sumber dapat diletakkan agak jauh dari permukaan tetapi diatur sedemikian rupa hingga dinding atas las tidak tergambar pada *film*, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.17 berikut.



Exposure arrangement – D

Gambar 2.17 *Non contact technique*

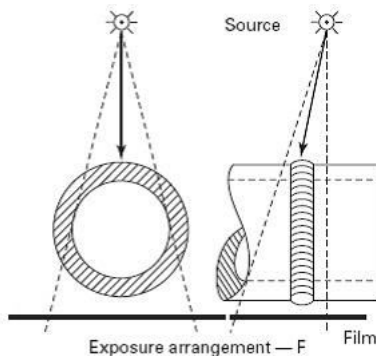
2.11.3 *Double wall double viewing (DWDV)*

Benda uji dengan diameter luar yang kecil tidak mungkin diterapkan teknik *single wall single viewing* maupun *double wall*

single viewing. Beberapa standar merekomendasikan teknik *double wall double viewing* diterapkan pada benda uji berupa Pipa dengan diameter kurang dari 100 mm. Teknik *double wall double viewing* merupakan teknik penyinaran dengan posisi sumber radiasi sedemikian rupa sehingga radiasi menembus kedua dinding benda uji dan pada *film* tergambar kedua dinding las tersebut untuk diinterpretasi. Teknik *double wall double viewing* meliputi:

2.11.3.1 *Ellips technique*

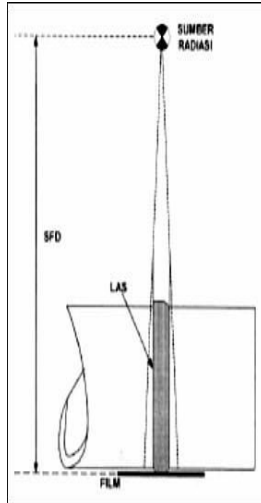
Teknik ini dilakukan dengan posisi sumber radiasi membentuk sudut tertentu terhadap bidang normal las sehingga gambar kedua bagian dinding benda uji berbentuk ellips, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.18 berikut.



Gambar 2.18 *Ellips technique*

2.11.3.2 *Superimposed technique*

Sebagai alternatif bila teknik elips tidak dapat diterapkan maka teknik *double wall double viewing* dilakukan dengan meletakkan sumber tegak lurus terhadap benda uji sehingga gambar kedua dinding benda uji bertumpuk, seperti yang di tunjukkan Gambar 2.19 berikut.



Gambar 2.19 Superimposed technique

2.12 Komponen Alat Gamma-Ray

Untuk melakukan suatu pengujian radiografi dengan gamma-ray kita membutuhkan beberapa komponen untuk menyusun dan menggunakan paparan gamma-ray dari beberapa komponen yang dibutuhkan yaitu:

2.12.1 Pesawat *gamma-ray*

Mesin ini digunakan untuk menyimpan, mengirim dan menyinari suatu objek yang dimana mesin tersebut berisikan bahan radioaktif. Juga berfungsi untuk mengurangi paparan radiasi selama penggunaannya, seperti Gambar 2.20 berikut.



Gambar 2.20 Pesawat *gamma-ray*

2.12.2 Sumber *radioisotop*

Didalam mesin *gamma-ray* terdapat radiosotop yang digunakan untuk menyimpan sumber radiasi. Radioisotop yang digunakan dimasukkan kedalam kapsul untuk mencegah kebocoran radiasi. Setelah radiosotop dimasukkan kedalam kapsul barulah kapsul diberi muatan atau sumber yang berfungsi sebagai pemancar saat digunakan untuk pengujian radiografi, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.21 berikut.



Gambar 2.21 Sumber radioaktif *isotop*

2.12.3 Kapsul *pigtail*

Kapsul ini digunakan sebagai kabel untuk membentuk *pigtail*, *pigtail* mempunyai konektor khusus pada ujungnya yang menyambungkan ke kabel yang digunakan untuk mengeluarkan sumber dari kamera *gamma-ray*.



Gambar 2.22 Kapsul *pigtail*

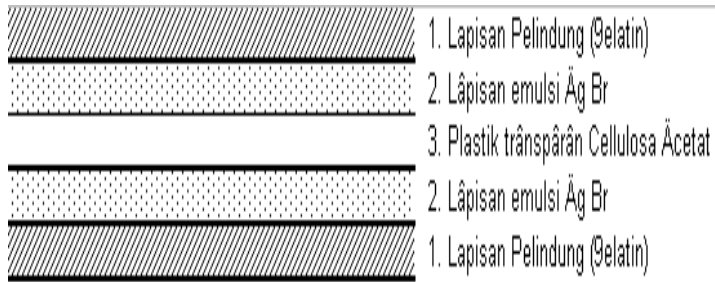
2.13 Film Radiografi

Film berfungsi untuk merekam gambar benda uji yang diinspeksi. Bahan dasar *film* terbuat dari bahan sejenis plastik transparan yaitu *cellulosa acetat*, yang mempunyai sifat *fleksibel*, ringan, tidak mudah pecah, dan tembus cahaya. Kedua permukaannya dilapisi suatu emulsi yang mengandung persenyawaan AgBr (perak bromida), untuk melindungi lapisan emulsi agar tidak cepat rusak maka di atasnya dilapisi lagi dengan gelatin.



Gambar 2.23 Radiografi *film*

Berikut ini adalah penyusun *film* yang di gunakan untuk merekam benda uji yang di periksa:



Gambar 2.24 Penyusun *film* radiografi

Radiasi mengenai *film* dan mengionisasi AgBr menjadi Ag^+ dan Br^- sehingga terbentuk bayangan laten kemudian di developer bayangan laten dimunculkan dengan mereduksi Ag^+ menjadi Ag, sedangkan Br^- larut. Kemudian di fixer, sehingga senyawa AgBr yang belum diionisasi akan larut. Dan persyaratan *film* yaitu:

1. Tidak ada cacat fisik
2. Densitas terang /gelap diukur dengan densitometer
3. Sensitivitas

2.14 Klasifikasi Jenis *Film*

Film radiografi diklasifikasikan dengan cara mengkombinasikan faktor – faktor dan karakteristik *film*. Contoh klasifikasi *film* dapat dilihat pada Table 2.2 berikut.

Table 2.2 Klasifikasi *film* menurut standart

No.	Class	Velocity	Contrast	Grainess
1	Spesial	Tinggi	Sangat Tinggi	Sangat Rendah
2	I	Rendah	Sangat Tinggi	Sangat Rendah
3	II	Sedang	Tinggi	Rendah
4	III	Tinggi	Sedang	Tinggi

Setiap perusahaan *film* memproduksi berbagai macam jenis *film* yang dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. *Film screen fluorescent* yaitu *film* yang dalam penggunaannya memerlukan *screen* pengintensif *fluorescent* dan dapat menghasilkan *film* dengan penyinaran yang minimum.
2. *Film* langsung yaitu *film* yang dalam penggunaannya tidak memerlukan *screen* atau untuk penyinaran menggunakan *screen* timbal.

2.15 Pemilihan *Film* Radiografi

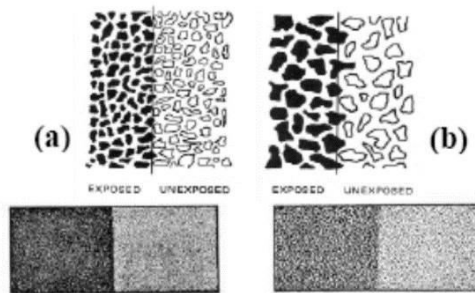
Pemilihan *film* untuk radiografi tergantung pada beberapa faktor yang berbeda. Faktor tersebut harus dipertimbangkan saat memilih *film* dan mengembangkan teknik radiografi. Faktor – faktor tersebut dijelaskan sebagai berikut:

1. Komposisi, bentuk, dan ukuran dari bagian yang akan diperiksa. Pada beberapa kasus dipertimbangkan pula berat dan lokasinya.
2. Tipe dari radiasi yang digunakan seperti sinar- γ dari sumber radioaktif atau sinar-x dari sistem pembangkit sinar-x.
3. Intensitas dari sumber radiasi sinar- γ atau tegangan yang tersedia dari pesawat sinar-x.

4. Tingkat detail dari gambar hasil radiografi dan segi ekonomi.

Pemilihan *film* untuk radiografi pada benda uji terutama tergantung dari ketebakan dan jenis material yang diuji serta rentang intensitas sumber (Ci) yang tersedia pada sumber gamma-ray. Pemilihan *film* juga tergantung kepada kualitas radiografi yang diinginkan dan waktu pentinaran. Jika kualitas radiografi yang diinginkan berkualitas tinggi maka digunakan *film* lambat (*film* dengan butiran lebih halus) harus digunakan. Jika menginginkan waktu penyinaran yang pendek maka digunakan *film* cepat.

Untuk detail butiran *film* dapat dilihat pada Gambar 2.25 dibawah ini. Butiran *film* mempengaruhi definition *film* radiografi. *Film* berbutir besar (*film* cepat) seringkali dipakai untuk mengurangi waktu eksposur sedangkan *film* berbutir kecil (*film* lambat) menghasilkan *definition* terbaik.



Gambar 2.25 Struktur butir *film* lambat (a) dan *film* cepat (b)

2.16 Pengekapan *Film* Radiografi

Film radiografi dapat dipesan dalam berbagai paket. Sebagian besar dipesan dalam bentuk dasar berupa lembaran dalam sebuah box. Dalam proses persiapan sebelum digunakan, setiap lembar harus dikeluarkan dari box dan dimasukkan ke dalam

kaset atau wadah *film* (*film holder*) di dalam ruang gelap (*dark room*) untuk melindunginya dari paparan cahaya.



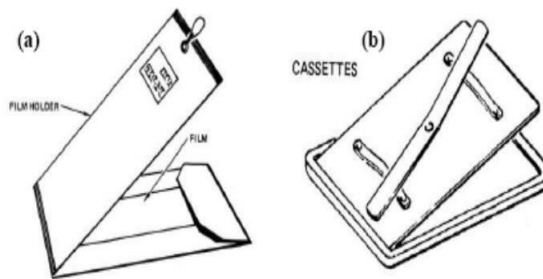
Gambar 2.26 *Cassete film* radiografi

Lembaran *film* radiografi tersedia dalam berbagai ukuran dengan atau tanpa kertas pemisah di tiap lembarnya. Kertas pemisah harus dilepas sebelum *film* dimasukkan ke dalam *film holder*. Banyak pengguna mengetahui manfaat kertas pemisah sebagai pelindung *film* dari goresan atau kotoran.

Film radiografi untuk industri juga tersedia berupa lembaran *film* dibungkus dengan amplop tipis yang kedap cahaya sehingga *film* dapat langsung digunakan untuk keperluan radiografi tanpa perlu memindahkannya ke dalam kaset maupun *film holder*. Pada amplop pembungkusan *film* tersedia bidang sobekan sehingga memudahkan proses pengeluaran *film* untuk dicuci. *Film* yang berada dalam amplop juga terlindung dari bekas jari tangan yang menempel maupun kotoran.

Paket *film* radiografi juga tersedia dalam bentuk gulungan (*rolls*) yang dapat dipotong dalam berbagai ukuran panjang. Ujung dari gulungan dilapisi dengan selotip elektrik (*electrical tape*) di

ruang gelap. Proses radiografi pada area las atau sambungan panjang yang melingkar seperti pada sambungan aluminium pada badan pesawat, ukuran *film* yang panjang akan memberikan berbagai manfaat dari segi waktu dan ekonomi. *Film* diletakkan diluar melingkar badan pesawat dan sumber radiasi diletakkan didalam di pusat badan pesawat sehingga proses penyinaran bisa dilakukan dalam satu kali tembak. Bentuk dari *film* holder dan kaset dapat dilihat pada Gambar 2.27 berikut.



Gambar 2.27 *Film holder* (a) dan kaset (b)

2.17 Penanganan *Film* Radiografi

Film radiografi harus ditangani secara hati – hati untuk menghindari adanya cacat fisik yang berasal dari tekanan, tumbukan, gesekan dan sebagainya. Dalam penanganannya, *film* harus mendapat tekanan yang merata di semua permukaan. Jika *film* holder mendapat tekanan tinggi di salah satu bagian maka bagian tersebut akan memberikan densitas yang lebih tinggi setelah diproses seperti bercak yang hitam dan bila tepat berada pada gambar area inspeksi maka gambar tersebut menjadi tidak terbaca. Hal – hal penting tersebut patut diperhatikan dalam menangani paket *film* radiografi yang berupa lembaran dalam amplop tipis kedap cahaya.

Bekas kerutan dari tangan yang lembab atau terkontaminasi dengan cairan kimia pada *film* radiografi harus dihindari dengan cara memegang tepi pada kedua sisi

menggunakan tangan. Selalu sediakan kain lap untuk mengeringkan tangan. Untuk mencegah masalah tersebut, dapat juga digunakan amplop sampaj *film* dikeluarkan untuk diproses lebih lanjut. Hal yang penting untuk diperhatikan adalah menghindari gesekan akibat tarikan saat mengeluarkan *film* dari dalam karton, box, *film* holder maupun kaset yang dapat menimbulkan bekas melingkar atau yang menyerupai pohon berwarna hitam pada *film* setelah diproses.

2.18 Pemrosesan *Film* Radiografi

Saat eksposur selesai dilakukan, selanjutnya *film* diproses sehingga citra laten yang dihasilkan oleh radiasi akan nampak. Pada dasarnya terdapat tiga larutan pemroses yang dipakai untuk mengubah suatu *film* yang telah terekspose menjadi *film* radiografi. Langkah – langkah pemrosesan *film* berdasarkan urutan larutan yang digunakan adalah sebagai berikut.

2.18.1 Developer

Developer adalah suatu larutan kombinasi zat kimia yang masing-masing memiliki fungsi penting. Salah satu zat kimianya adalah accelerator yang membuat larutan bersifat basa. Zat kimia ini menghilangkan lapisan pelindung dan menggembungkan pengemulsi sehingga memungkinkan zat pengembang bereaksi dengan butiran yang terekspose. Zat kimia lainnya dalam developer adalah reducer yang terbuat dari metol atau hydroquinone. Fungsinya adalah untuk mereduksi butiran perak bromida yang terekspose menjadi logam perak berwarna hitam.

Seluruh bagian *film* tidak berubah menjadi hitam karena reducer dapat membedakan antara butiran yang terekspose dengan yang tidak terekspose. Namun demikian, jika *film* dibiarkan terendam dalam larutan developer terlalu lama, reducer akan bereaksi dengan butiran yang tak terekspose dan terjadi

pengkabutan. Waktu dan suhu adalah faktor – faktor penting di dalam proses development.

Pada proses development biasanya digunakan suhu 20°C dengan waktu celup antara 5 sampai 8 menit. Namun demikian hal tersebut harus selalu diverifikasi dengan prosedur atau spesifikasi yang digunakan. Jika suhu larutan dinaikkan, kecepatan penembusan larutan basa juga akan bertambah besar. Oleh karena itu, sebuah *film* yang didevelopkan pada suhu 20°C selama 6 menit akan lebih gelap daripada sebuah *film* yang didevelopkan pada suhu 15.5°C dengan waktu yang sama.

Densitas (tingkat kegelapan) ditentukan oleh jumlah butiran perak bromida yang direduksi oleh developer. Larutan developer dapat rusak, habisnya zat kimia pada developer adalah sebanding dengan jumlah dan densitas *film* yang didevelopkan.

2.18.2 *Stop bath*

Apabila sebuah *film* dikeluarkan dari dalam larutan developer maka sejumlah kecil larutan basa akan tertinggal di *film* tersebut. Zat kimia yang digunakan di dalam stop bath biasanya adalah asam asetat glacial. Stop bath memiliki dua fungsi yaitu:

1. Menghentikan aksi developing dengan cara menetralkan zat basa developer (basa dan asam saling menetralkan).
2. Menetralkan zat basa developer sebelum *film* dimasukkan ke dalam cairan fixer sehingga memperpanjang usia fixer.

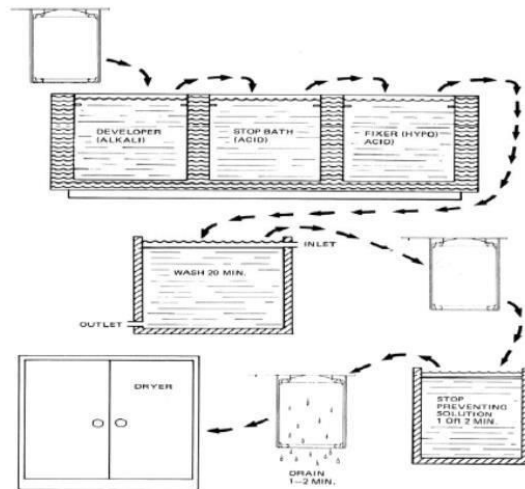
2.18.3 *Fixer*

Fixer secara permanen mengefixkan citra pada *film*. Di dalam developer, butiran perak bromida direduksi menjadi logam perak. Namun demikian, butiran perak bromida yang tertinggal di dalam emulsi dan nampak berwarna kuning susu pada *film*. Fixer menghilangkan semua butiran perak yang tidak terekspos dari

dalam *film*. Di dalam proses fixing terdapat dua tahap yang terpisah.

1. Waktu pembersihan, ini menghilangkan semua butiran perak yang terekspos dan kabut pada *film* berangsur angsur hilang.
2. Namun demikian waktu total *film* di dalam fixer sebaiknya dua kali waktu yang diperlukan untuk membersihkan *film*.
3. Pengerasan, fixer juga mengeraskan emulsi gelatin yang membantu mencegah timbulnya goresan selama penanganan.

Setelah pemrosesan dengan zat kimia, *film* dicuci dan dikeringkan. *Film* tersebut kadang kala dicelupkan dalam suatu larutan untuk mencegah timbulnya bintik-bintik air. Larutan ini membuat air mudah membasahi *film* dan menghasilkan pengeringan merata. Untuk detailnya dapat dilihat pada Gambar 2.28 dibawah ini.



Gambar 2.28 Skema diagram pemrosesan *film* radiografi

2.19 Cacat *Film Radiografi*

Dari segi *film* radiografi perlu ditinjau ulang akhir hasil gambar radiografi sebab hal yang sering dijumpai pada hasil radiografi adalah cacat pada *film* tersebut, diantaranya:

1. Densitas terlalu tinggi disebabkan oleh waktu penyinaran terlalu lama dan waktu di cairan *developer* terlalu lama.
2. Densitas terlalu rendah disebabkan oleh waktu penyinaran kurang, waktu di cairan *developer* kurang dan adanya material lain antara *film* dan *screen*.
3. Kontras terlalu tinggi disebabkan oleh subyek kontras terlalu tinggi dan *film* kontras terlalu tinggi.
4. *Fog* ialah cacat *film* hitam seperti kabut disebabkan oleh kebocoran sinar di kamar gelap, terkena cahaya lampu pengaman, terkena radiasi ketika *film* disimpan, terlalu lama di cairan *developer*, dan terkena cahaya sewaktu proses pencucian *film*.
5. Cacat berbentuk bulan sabit berwarna putih disebabkan oleh kesalahan memegang *film* (*film* terlipat atau tertekuk).
6. Balutan - balutan putih yang tidak merata disebabkan oleh gelembung udara menempel pada *film* yang diproses.

2.20 Pemilihan *Image Quality indicator*

Pemilihan *image quality indicator* (IQI) yang tepat merupakan hal yang penting dalam penembakan produk pengelasan karena hal tersebut terkait dengan sensitifitas suatu *film* radiografi. Sensitifitas merupakan ukuran kualitas dari suatu *film* terkait dengan detail dan cacat terkecil yang bisa diamati. IQI yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan *wire type* dan penempatan marker memilih metoda *film side*. Berdasarkan Tabel 2.3 diketahui produk las dengan ketebalan tertentu selanjutnya akan didapatkan nilai *wire-type essential wire*.

Table 2.3 Pemilihan *image quality indicator*

Nominal Single-Wall Material Thickness Range, in. (mm)	IQI					
	Source Side			Film Side		
	Hole-Type Designation	Essential Hole	Wire-Type Essential Wire	Hole-Type Designation	Essential Hole	Wire-Type Essential Wire
Up to 0.25, incl. (6.4)	12	2T	5	10	2T	4
Over 0.25 through 0.375 (6.4 through 9.5)	15	2T	6	12	2T	5
Over 0.375 through 0.50 (9.5 through 12.7)	17	2T	7	15	2T	6
Over 0.50 through 0.75 (12.7 through 19.0)	20	2T	8	17	2T	7
Over 0.75 through 1.00 (19.0 through 25.4)	25	2T	9	20	2T	8
Over 1.00 through 1.50 (25.4 through 38.1)	30	2T	10	25	2T	9
Over 1.50 through 2.00 (38.1 through 50.8)	35	2T	11	30	2T	10
Over 2.00 through 2.50 (50.8 through 63.5)	40	2T	12	35	2T	11
Over 2.50 through 4.00 (63.5 through 101.6)	50	2T	13	40	2T	12
Over 4.00 through 6.00 (101.6 through 152.4)	60	2T	14	50	2T	13
Over 6.00 through 8.00 (152.4 through 203.2)	80	2T	16	60	2T	14
Over 8.00 through 10.00 (203.2 through 254.0)	100	2T	17	80	2T	16
Over 10.00 through 12.00 (254.0 through 304.8)	120	2T	18	100	2T	17
Over 12.00 through 16.00 (304.8 through 406.4)	160	2T	20	120	2T	18
Over 16.00 through 20.00 (406.4 through 508.0)	200	2T	21	160	2T	20

2.21 Pemilihan *Wire Identity* dan *Wire Diameter*

Setelah didapatkan nilai *wire type wire essential* atau *wire identity* maka selanjutnya menuju Table 2.4 berikut.

Tabel 2.4 *Wire IQI designation, wire diameter, and wire identity*

Set A			Set B		
Wire Diameter, in. (mm)	Wire Identity		Wire Diameter, in. (mm)	Wire Identity	
0.0032 (0.08)	1		0.010 (0.25)	6	
0.004 (0.10)	2		0.013 (0.33)	7	
0.005 (0.13)	3		0.016 (0.41)	8	
0.0063 (0.16)	4		0.020 (0.51)	9	
0.008 (0.20)	5		0.025 (0.64)	10	
0.010 (0.25)	6		0.032 (0.81)	11	
Set C			Set D		
Wire Diameter, in. (mm)	Wire Identity		Wire Diameter, in. (mm)	Wire Identity	
0.032 (0.81)	11		0.100 (2.54)	16	
0.040 (1.02)	12		0.126 (3.20)	17	
0.050 (1.27)	13		0.160 (4.06)	18	
0.063 (1.60)	14		0.200 (5.08)	19	
0.080 (2.03)	15		0.250 (6.35)	20	
0.100 (2.54)	16		0.320 (8.13)	21	

Kemudian didapatkan data *wire diameter* berdasarkan data yang diperoleh pada tahap sebelumnya. *Wire diameter* menunjukkan ukuran cacat atau diskontinuitas terkecil yang dapat terlihat pada *film* radiografi tersebut. *Wire identity* menunjukkan nomor *wire* minimal yang muncul pada *film* yang menunjukkan nilai sensitivitas film.

2.22 Unsharpness Geometric

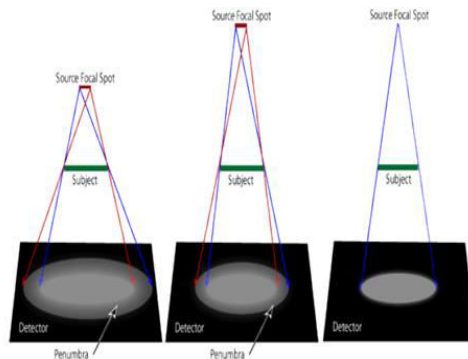
Melakukan perhitungan *unsharpness geometric* berdasarkan persamaan pada klasifikasi *film*. Sebelum melakukan perhitungan tersebut tentukan nilai *source film distance* untuk mendapat nilai *source object distance* yang akan digunakan dalam perhitungan *unsharpness geometric*. Selanjutnya setelah nilai *unsharpness geometric* ditemukan maka kemudian lihat Table 2.5 Dibawah ini yang merupakan nilai batasan untuk nilai *unsharpness geometric* berdasarkan ketebalan material yang digunakan.

Table 2.5 *Unsharpness geometric limitation*

Material Thickness, in. (mm)	U_g Maximum, in. (mm)
Under 2 (50)	0.020 (0.51)
2 through 3 (50–75)	0.030 (0.76)
Over 3 through 4 (75–100)	0.040 (1.02)
Greater than 4 (100)	0.070 (1.78)

Bila *Unsharpness geometric* melebihi nilai maksimal maka harus dirubah lagi nilai *source film distance* yang digunakan agar didapatkan nilai U_g dibawah nilai maksimal tersebut. Karena bila melebihi nilai ketentuan maka bayangan *penumbra* terlalu besar dan berakibat susahnya mengukur ukuran cacat karena terjadi penghamburan. Prinsip dasar pembentukan bayangan tidak diikuti dengan benar, salah satu penyebab *Unsharpness geometric* atau ketidaktajaman geometris berhubungan dengan ukuran dari

sumber radiasi. Jika sumber bukan berupa titik, namun berupa luasan, maka citra yang dihasilkan tidak tajam. Ketidak tajam sisi citra dinamakan “*Penumbra*”. *Penumbra* tidak dapat sepenuhnya dihilangkan karena sumber berupa titik tidak mungkin diperoleh dari peralatan radiografi, namun *penumbra* dapat dikurangi dengan cara memperbesar jarak sumber ke spesimen benda uji.



Gambar 2.29 *Penumbra*

Teknik yang sangat penting untuk mengurangi *penumbra* adalah menjaga jarak *film* terhadap specimen sedekat mungkin. Apabila *penumbra* dapat dikurangi, maka *definition* citra radiografi juga dapat bertambah, ketajaman geometric optimum akan diperoleh apabila:

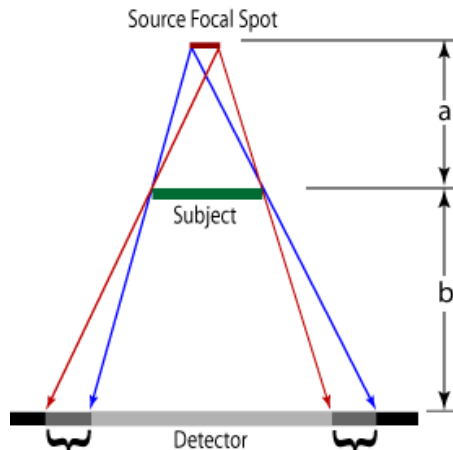
1. Sumber Radiasi berukuran kecil
2. Jarak dari sumber ke specimen relative besar atau jauh
3. Jarak dari specimen ke *film* dekat

Apabila memungkinkan, sinar dari sumber radiasi harus diarahkan tegak lurus ke *film* agar menghindari dari distorsi citra. *Film* harus terletak pada bidang yang sejajar dengan bidang specimen. Apabila bidang *film* dan specimen tidak sejajar, akan terjadi distorsi citra specimen. Karena citra yang terdistorsi dapat

mempengaruhi interpretasi *film* yang akan dilakukan yang bias menimbulkan akibatnya kebingungan menginterpretasi *film*.

2.23 Source Film Distance (SFD)

Source Film Distance (SFD) adalah jarak dari sumber radiasi hingga *film* radiografi. SFD menentukan seberapa besar luasan daerah yang akan diinterpretasikan. Jenis dan bentuk benda kerja mempengaruhi penentuan source film distance. Perubahan SFD juga sangat mempengaruhi lama dari waktu penyinaran benda kerja.



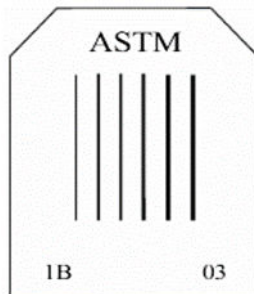
Gambar 2.30 *Source film distance*

2.24 Sensitivitas *Film* Radiografi

Sebelum *film* radiografi dipakai sebagai alat uji tanpa merusak, kita harus mengetahui seberapa akurat alat tersebut. Sensitivitas *film* radiografi adalah fungsi dari *contrast* dan *definition* dari *film* radiografi tersebut. Sensitivitas radiografi berhubungan dengan ukuran detail diskontinuitas terkecil yang dapat dilihat pada *film* hasil radiografi atau kemudahan gambar

detail diskontinuitas terkecil untuk dapat dideteksi. Sensitivitas radiografi memiliki kualitas citra yang baik maka dapat mendeteksi diskontinuitas yang baik. Dalam setiap pengujian radiografi digunakan alat uji *standart* yang disebut penetrameter atau yang sering disebut *image quality indicator* (IQI). Pemilihan parameter dan penempatannya harus sesuai dengan *standart* yang digunakan.

IQI ada 2 macam yaitu *wire* dan *hole* akan tetapi semakin seringnya penggunaan radiografi dalam pengujian sering sekali menggunakan type *wire* dikarenakan lebih praktis dan tentunya cepat tidak seperti halnya IQI *hole* karena harus terlebih dahulu mengukur tebal yang akan diuji dengan radiografi sehingga apabila ada perbedaan ketebalan maka diberi pemasangan ganjal IQI atau yang sering disebut “*shims*”, maka pengujian ini memilihlah IQI yang bermodelkan *wire* atau yang sering disebut kawat. Digunakan *standart* IQI ASTM/ASME yang terdiri atas 21 kawat, yang disusun menjadi 4 set dimana setiap set berisi 6 kawat, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.31.



Gambar 2.31 *Wire image quality indicator*

Sensitivitas indikator kualitas bayangan tipe kawat adalah persentase perbandingan diameter kawat terkecil yang tergambar pada *film* hasil uji radiografi terhadap ketebalan material. Fungsi IQI antara lain:

1. Digunakan sebagai media pengukur tingkat kualitas radiografi
2. Menentukan kualitas gambar radiografi

Perhitungan sensitivitas ekivalen yaitu persentase perbandingan diameter kawat terkecil yang tergambar pada film hasil radiografi terhadap ketebalan material dirumuskan:

$$S = \frac{\Phi}{X} \cdot 100\%$$

Dengan

S = Sensitivitas dalam persen

Φ = diameter kawat

X = tebal material

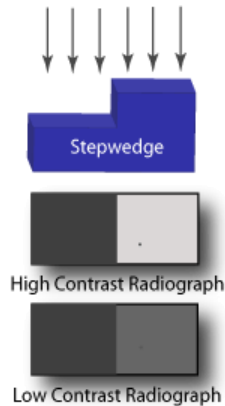
Sensitivitas ekivalen yang menjadi syarat keberterimaan ASME Sec.V adalah maksimal 2%.

2.25 Densitas *Film Radiografi*

Densitas *film* radiografi ialah tingkat kegelapan pada *film* radiografi yang telah selesai diproses dan densitas radiografi dilakukan pada daerah pemeriksaan atau yang biasa disebut *area of interest* pada densitas minimal dan maksimal namun bukan pada tempat yang ditafsirkan sebagai sebuah diskontinuitas. *Film* radiografi dinyatakan memenuhi kualitas bila densitas yang diukur pada tempat-tempat diatas memiliki rentang tertentu, yang nilainya tergantung pada prosedur atau spesifikasi ataupun *standart* yang digunakan. Pada ASME Sec.V 2015 untuk *gamma-ray* mempunyai rentang nilai densitas 2 sampai 4. Sedangkan untuk *x-ray* 1.8 sampai 4 Selain itu ASME Sec.V 2015 juga menetapkan batasan variasi densitas tidak mengijinkan - 15% dan +30%

2.26 Contrast

Contrast adalah perbandingan antara densitas *film* pada daerah-daerah yang berbeda pada *film* radiografi. Dan *contrast* ini kombinasi dari subyek *contrast* dan *film contrast*. Faktor-faktor didalam specimen yang mempengaruhi *contrast* dinamakan “Subyek *contrast*”.



Gambar 2.32 High dan low contrast

2.26.1 Subyek contrast

Subyek *contrast* adalah perbandingan antara intensitas *X-ray* atau *gamma-ray* yang diteruskan oleh dua bagian tertentu dari specimen. Subyek *contrast* dipengaruhi oleh energy radiasi, subyek contrast terbaik diperoleh dengan penggunaan radiasi yang dihasilkan oleh tegangan rendah atau radiasi lunak. Berikut adalah mengenai subyek *contrast* dipengaruhi oleh:

1. Perbedaan ketebalan pada specimen
2. Perbedaan densitas pada specimen
3. Energi radiasi (keV) yang digunakan

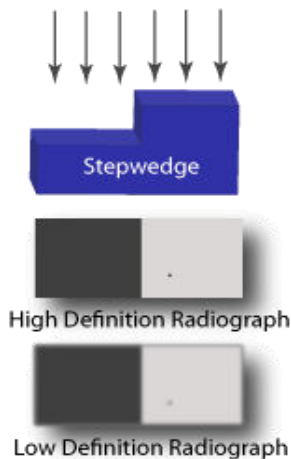
2.26.2 *Film contrast*

Film contrast didefinisikan sebagai kemampuan bawaan dari sebuah *film* untuk memperlihatkan perbedaan densitas akibat perubahan *exposure* yang diberikan. Semua pabrik *film* memproduksi jenis-jenis *film* yang berbeda dan beberapa jenis *film* memiliki kemampuan memperlihatkan *contrast* yang lebih baik ketimbang yang lainnya.

Besarnya *contrast* dari sebuah *film* biasanya dinyatakan sebagai hubungan antara *exposure film* dan densitas yang dihasilkan, hubungan tersebut dinyatakan dalam bentuk kurva karakteristik *film* atau biasa disebut kurva H & D.

2.27 Definition

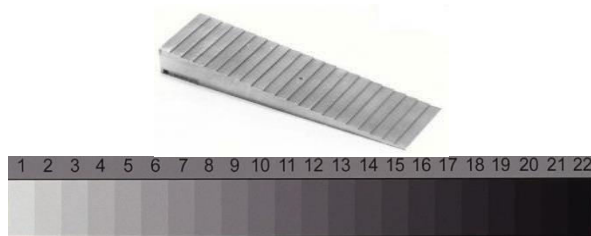
Definition adalah garis batas antara daerah-daerah yang densitasnya berbeda, jika citranya bersih dan tajam, *film* radiografi dikatakan memiliki *definition* yang bagus. Ketidak tajamannya disebabkan oleh elektron bebas yang dihasilkan oleh sinar radiografi saat melewati *film*.



Gambar 2.33 *High dan low definition*

2.28 *Latitude*

Latitude adalah rentang ketebalan yang dapat dimunculkan dengan baik pada *film* radiografi. *Latitude* sangat berkaitan erat dengan *contrast*, namun dalam artian sebaliknya.



Gambar 2.34 *Stepwedge* beserta *latitude*

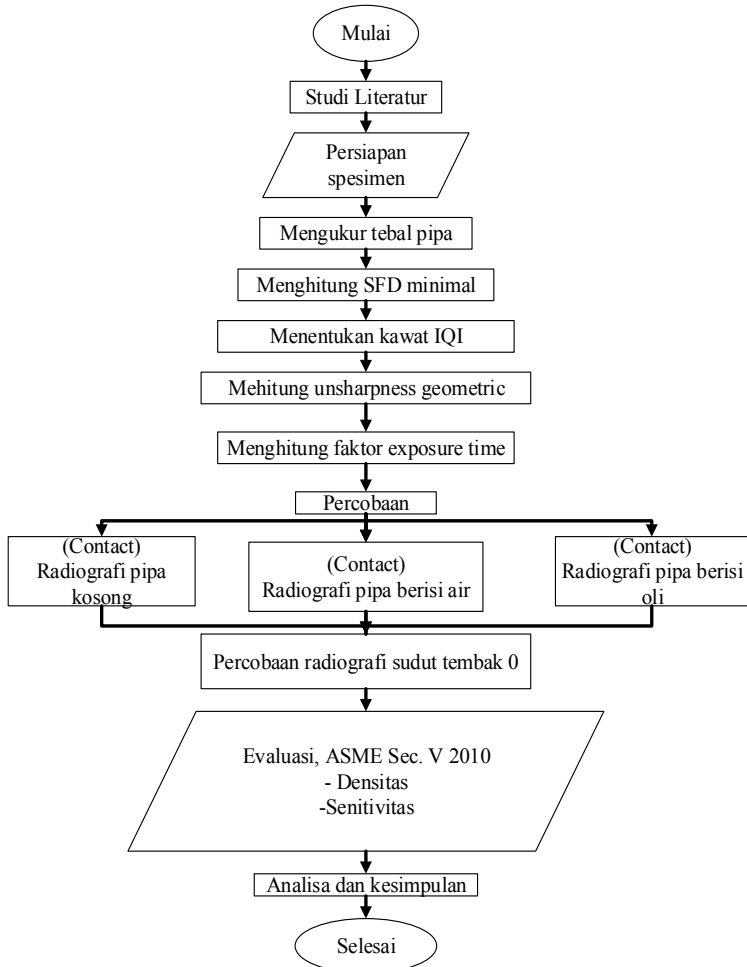
Dapat dilihat pada Gambar 2.34 terdapat 22 jumlah rentang kegelapan atau densitas.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metoda Penelitian

Pengerjaan dalam pembuatan tugas akhir ini sesuai dengan flow chart, bisa dilihat pada gambar 3.1 diagram di bawah ini.



Gambar 3.1 Flowchart diagram

3.2 Waktu Pelaksanaan Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan pada semester genap tahun ajaran 2015/2016 yaitu pada bulan Februari sampai dengan Juni 2016.

3.3 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Lab Metalurgi Departemen Teknik Mesin Industri ITS Fakultas Vokasi dan Lab pengujian NDT ANDTECH sebagai tempat pengambilan data dan analisis.

3.4 Langkah Kerja

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini langkah pertama yang dilakukan adalah studi literatur tentang dasar pengelasan serta dilanjutkan pada fokus pengelasan pipa. Untuk proses analisis fokus pada literatur pengujian bahan NDT radiografi.

3.5 Studi Literatur

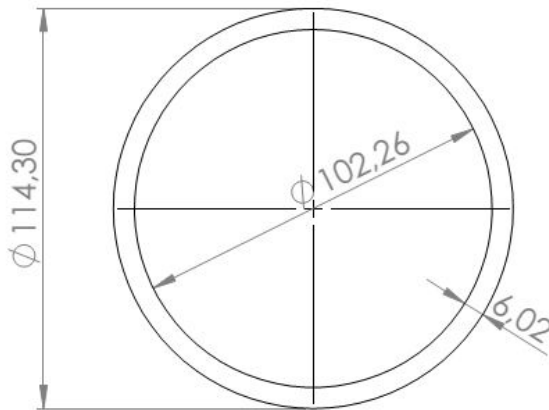
Studi literatur meliputi pengumpulan sumber-sumber referensi dan data yang dijadikan sebagai acuan untuk pembuatan spesimen, pelaksanaan proses pengelasan, pengujian, dan penyelesaian laporan tugas akhir dan spesimen. Laporan penelitian, beberapa referensi yang berhubungan dengan obyek yang akan dibahas serta sumber-sumber lainnya.

3.6 Persiapan Alat dan Spesimen

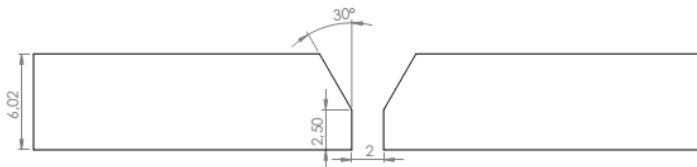
Dalam melakukan penelitian ini dibutuhkan material dan peralatan-peralatan yang mendukung untuk terlaksananya proses penelitian, mulai dari persiapan sebelum pengelasan, pelaksanaan pengelasan dan pengujiannya. material dan peralatan yang perlu dipersiapkan antara lain:

3.6.1 Material

Material API 5L *seamless grade B* NPS 4 *schedule 40S* adalah material yang biasanya digunakan dalam pembuatan konstruksi dan juga untuk *pipeline*. Material ini yang akan digunakan sebagai spesimen dalam penelitian ini dengan dilas pada posisi 5G dengan rincian pipa dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Dimensi NPS 4 *schedule 40*



Gambar 3.3 *Design bevel* persiapan pengelasan



Gambar 3.4 Pipa dengan *bevel* 30°

Tabel 3.1 Logam Induk dan Pengisi

NAMA	KETERANGAN
Material Spesification	API 5L Grade B
Tebal	6,02 mm
Diameter	114,3 mm
Code filler	E 8018 B-2 dan E 8018 B-2
Filler metal diameter (mm)	3,2 mm dan 3,2 mm
Posisi pengelasan	1G
Bevel	30°

Tabel 3.2 Parameter Pengelasan

Parameter	Layer	
Number/pass	1 (<i>root</i>)	2 (<i>fill & capping</i>)
Proses	SMAW	SMAW
Travel speed,mm/min	1.5	1.4
Amperage	130	130
Voltage	27	27
Electrode diameter (mm)	3,2	3,2

3.6.2 Mesin las *shielded metal arc welding*

Mesin las *shielded metal arc welding* adalah las busur listrik dengan menggunakan elektroda berselaput flux. Fungsi *flux* pada pengelasan ini adalah membentuk *slag* diatas hasil lasan yang berfungsi sebagai pelindung dari hasil lasan dari udara selama proses las berlangsung. Mesin tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.4 dibawah ini.



Gambar 3.5 Mesin las dan tang amper



Gambar 3.6 Hasil pengelasan

3.6.3 Gerinda tangan

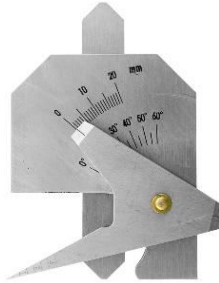
Mesin gerinda tangan merupakan mesin yang berfungsi untuk menggerinda benda kerja. Awalnya mesin gerinda hanya ditujukan untuk benda kerja berupa logam yang keras seperti besi dan stainless steel. Menggerinda dapat bertujuan untuk mengasah benda kerja seperti pisau dan pahat, atau dapat juga bertujuan untuk membentuk benda kerja seperti merapikan hasil pemotongan, merapikan hasil las, membentuk lengkungan pada benda kerja yang bersudut, menyiapkan permukaan benda kerja untuk dilas, dan lain-lain. Gerinda tangan dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.7 Gerinda tangan

3.6.4 *Welding gauge*

Welding gauge merupakan suatu alat ukur untuk mempermudah pengukuran suatu hasil pengelasan. Tidak hanya untuk mengukur hasil lasan saja akan tetapi juga untuk inspeksi pengukuran cacat dalam hasil lasan, alat ukur ini sejatinya banyak bentuknya sesuai diklasifikasikan *american welding society* (AWS).



Gambar 3.8 *Welding gauge*

3.6.5 Mesin radiografi *gamma-ray*

Radiografi digunakan untuk memeriksa cacat logam bagian dalam pada semua jenis bahan. Radiografi menggunakan *x-ray* yang dihasilkan dari *elektron* sedangkan sinar *gamma-ray* dihasilkan dari sumber radioaktif yang didapat dari *radiosotop* suatu unsur yang memancarkan suatu sinar untuk menuju proses kestabilan. Kamera radiografi dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut.



Gambar 3.9 Mesin radiografi *gamma-ray*

3.6.6 Lead marker

Lead marker digunakan untuk memberi tanda pada benda uji yang akan di tembak, yang berfungsi memberi tanda atau kode yang sama antara benda uji dan *film*. Tanda akan muncul pada saat *film* sudah dicuci, pemberian tanda ini supaya mudah untuk diidentifikasi. Lead marker dapat dilihat pada Gambar 3.8



Gambar 3.10 Lead Marker

3.6.7 Penetrameter

Berfungsi untuk mengetahui hasil dari proses radiografi apakah memenuhi standart yang ada dengan parameter jumlah kawat yang terlihat pada film sesuai dengan hasil perhitungan. Dalam penelitian ini menggunakan ASTM 1A.



Gambar 3.11 Penetrameter

3.6.8 Meteran

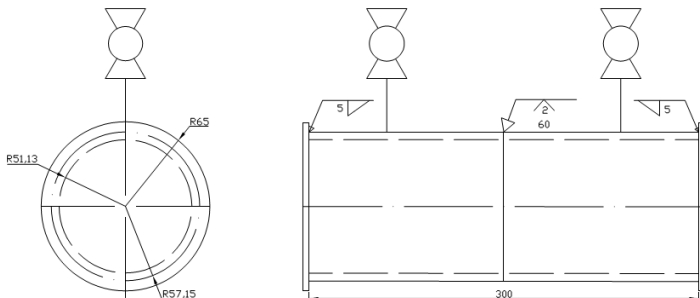
Digunakan untuk menentukan jarak *source film distance* (SFD) suatu penembakan radiografi yang akan digunakan, agar penempatan sumber tepat pada jarak yang sudah ditentukan dalam penelitian. Penggaris dapat dilihat Gambar 3.9.



Gambar 3.12 Penggaris

3.6.9 Produk las

Produk las material *seamless API 5L Gr.B NPS4 schedule 40* akan dilas pada sambungan *butt joint* yang diberi *groove single V* dengan sudut 60° pada posisi pengelasan 5G pada proses pengelasan *shielded metal arc welding*, dengan dimensi *test piece* yang di atur di dalam *ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section V 2015* dapat dilihat ada Gambar 3.10.



Gambar 3.13 Dimensi Spesimen

3.6.10 Pencucian *film*

Pencucian *film* digunakan untuk mencuci atau pemrosesan *film* setelah proses radiografi dengan *gama-ray* agar menjadi hasil *film* yang permanen. Dalam proses tersebut terdiri atas tempat penampungan cairan *developer*, cairan *fixer*, *stop bath* dan air. *Drying box* dan *red light* juga ikut melengkapi proses pencucian tersebut.

Cairan dalam satu proses *developer* dan *fixer* memiliki merek yang sama dengan *film* yang digunakan yaitu AGFA D7 karena setiap *film* dan cairan tertentu memiliki karakter tersendiri sehingga perlu ada perhatian khusus. *Red light* digunakan pada ruangan gelap karena cahaya merah memiliki panjang gelombang terbesar dan frekuensinya yang terpendek diantara cahaya lain. Oleh karena itu, *red light* tersebut tidak akan merusak *film* yang belum diproses.

3.6.11 *Viewer*

Viewer ini adalah suatu peralatan yang dirancang untuk membantu dan mempermudah dalam membaca ataupun menginterpretasi *film* radiografi. Dalam *viewer* ini pencahayaan dapat diatur untuk menginterpretasi cacat pada *film* radiografi tersebut. Alat *viewer* dapat dilihat pada Gambar 3.11 dibawah berikut.



Gambar 3.14 *Viewer film* radiografi

3.6.12 Densitometer

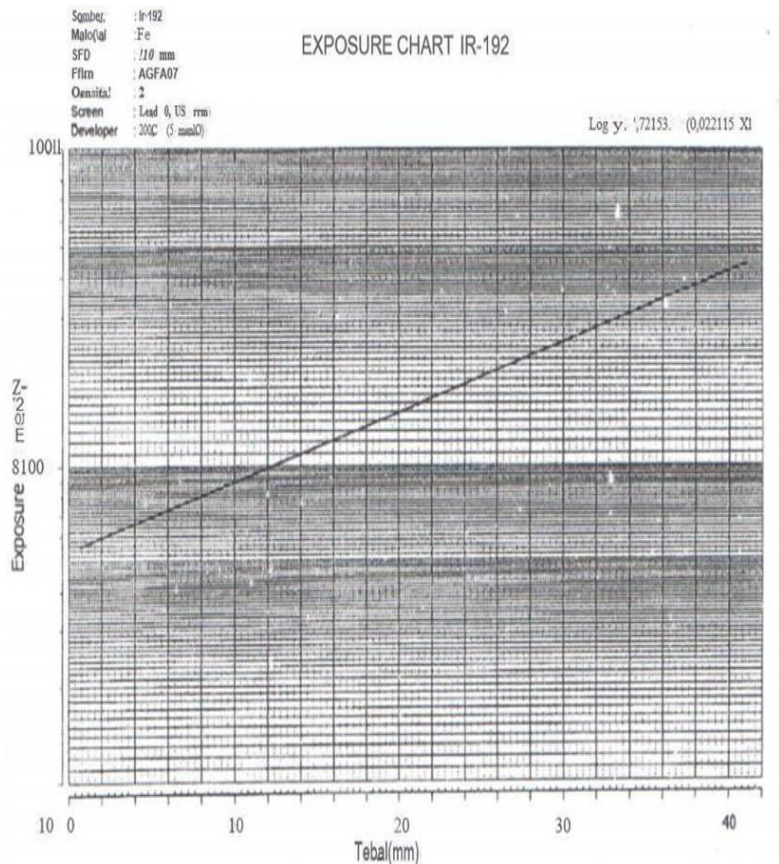
Densitometer adalah sebuah peralatan ilmiah yang dirancang untuk mengukur tingkat kehitaman suatu *film* radiografi dengan *output* menunjukkan suatu angka tingkat kehitaman atau densitas suatu hasil film yang sudah mengalami pencucian. Densitometer dapat dilihat pada Gambar 3.12 dibawah berikut.



Gambar 3.15 Densitometer

3.7 Exposure Chart

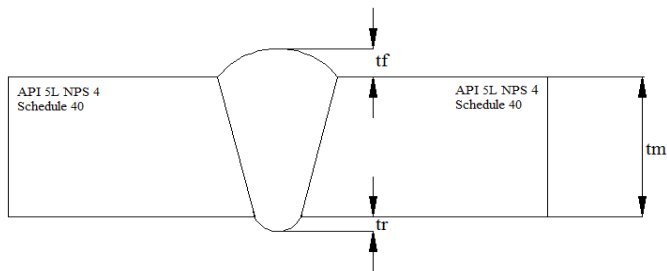
Dalam penelitian ini digunakan sumber yaitu Ir 192. Untuk *exposure time* yang digunakan mengacu pada kurva penyinaran *exposure chart iridium-192*. Dengan SFD 610 mm dan suatu persamaan $\text{Log } E = 1,72153 + 0,022115 (x)$, dimana (x) adalah tebal suatu material. Untuk lebih jelasnya kurva penyinaran tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.13. Untuk garis absis merupakan ketebalan material yang akan ditembak sedangkan garis kordinat merupakan aktifitas sumber dalam satuan (Ci menit). Kurva penyinaran diatas memiliki parameter yang cukup banyak agar dapat menghasilkan nilai densitas pada film. Mulai dari jenis film yang digunakan, intensifying screen, source film distance.



Gambar 3.16 *Exposure chart Ir-192*

3.7.1 Pengukuran tebal pipa

Prosedur percobaan yang pertama kali dilakukan adalah melakukan pengukuran pada material uji, yaitu pengukuran t_f , t_m dan t_r , yang kemudian dilakukan perhitungan untuk mencari t_w . Pengukuran tebal pipa dapat dilihat lebih rinci pada Gambar 3.14 berikut.



Gambar 3.17 Pengukuran *reinforcement*

3.7.2 Menentukan tebal pipa

Menentukan suatu ketebalan pipa sewaktu dilakukannya pengujian radiografi sangatlah penting karena bila melakukan kesalahan penentuan ketebalan maka akan terjadi ketidak sesuaian *standart*, maka dari itu pentingnya ketepatan dalam menentukan ketebalan sesuai persyaratan *standart* yang mengatur tentang pengujian tersebut yaitu dengan menggunakan suatu rumus ketentuan yang digunakan pada acuan *standart* yang dilihat pada Table 3.3 berikut ini.

Table 3.3 Rumus perhitungan tebal keseluruhan

Determine	Plate	Pipe <OD 3,5"	Pipe >OD 3,5"
Unsharpness geometric	$tw = tm + tf + tr$	$tw = OD + 2tf$	$tw = tm + tf + tr$
Image quality indicator	$tw = tm + tf + tr$	$tw = tm + tf + tr$	$tw = tm + tf + tr$
Exposure time	$tw = tm + tf + tr$	$tw = 2(tm + tf + tr)$	$tw = 2(tm + tf + tr)$

Formula dari Table 3.3 didapatkan dari standart acuan penelitian ini dengan code ASME Sec.V.

Dimana:

tw : Tebal keseluruhan (mm)

t_m : Tebal material (mm)
 t_f : Tebal *face* (mm)
 t_r : Tebal *root* (mm)
 OD : *Outside diameter* (mm)

Perhitungan ketebalan material API 5L *seamless grade B* NPS 4 *schedule 40* dapat ditentukan dengan berbagai kebutuhan perhitungan untuk menentukan *Unsharpness geometric*, *Image quality indicator*, dan *Exposure time* sebagai berikut.

$$tw = t_m + t_f + t_r$$

$$tw = 6,02 \text{ mm} + 3 \text{ mm} + 0,0 \text{ mm}$$

$$tw = 9,02 \text{ mm}$$

Apabila untuk kebutuhan mencari nilai *exposure time* maka tebal keseluruhan tersebut dikali 2 karena menggunakan juga metoda *double wall single viewing* dapat dilihat sebagai berikut.

$$tw = 2 (t_m + t_f + t_r)$$

$$tw = 2 \times tw$$

$$tw = 2 \times 9,02 \text{ mm}$$

$$tw = 18,04 \text{ mm}$$

3.8 Source Film Distance

Dalam menentukan jarak penembakan atau bias disebut dengan *source film distance* yang ditentukan pada penelitian yaitu (*contact*) yang dilakukan pada jarak sebagai berikut:

1. *Contact*

Yang didapat dari $1X \text{ } \varnothing \text{ pipa} + (2 \times t_f)$

Source film distance $114,30 + (2 \times 3) = 120,3$
mm, aktual 120 mm.

3.9 Menentukan Teknik Penyinaran

Dalam melakukan penelitian ini digunakan teknik penyinaran *double wall single viewing* yang sudah diatur pada *standart* ASME Sec.V.

3.10 Sumber Radiasi

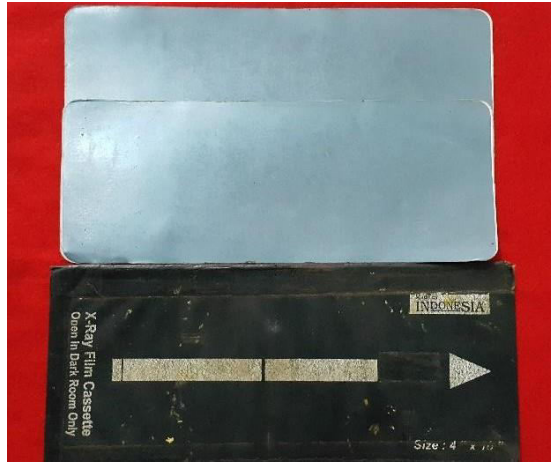
Dalam melakukan penelitian ini digunakan *radiosotop* Ir-192 dengan aktivitas 13 *curie*. Dengan penentuan faktor *exposure time* yang dapat dilihat pada gambar grafik atau bisa juga ditentukan oleh suatu persamaan logaritma berikut dimana x adalah ketebalan material.

$$\begin{aligned}\text{Log E} &= 1,72153 + 0,022115 (x) \\ \text{Log E} &= 1,72153 + 0,022115(18,04) \\ \text{Log E} &= 2,12 \\ E &= 132 \text{ Curie Menit}\end{aligned}$$

3.11 Penentuan *Film*

Dalam melakukan penelitian ini digunakan *film* sedang dengan spesifikasi AGFA *structurix* D7 yang dapat dilihat pada Gambar 3.19 menggunakan.

Screen depan : 0,125 mm Pb
Screen belakang : 0,125 mm Pb



Gambar 3.18 *Screen beserta holder film*

3.12 Penentuan *Source Film Distance Minimal*

Penentuan SFD minimal ini digunakan untuk memastikan bahwa penggunaan *contact technique* masih diijinkan dalam penelitian ini dengan formula.

$$SFD = \left(\frac{Fxt}{Ug \max} \right) + t$$

$$SFD = \left(\frac{3,72 \times 9,02}{0,51} \right) + 9,02$$

$$SFD = 74,8 \text{ mm}$$

Dimana:

F = focal spot

t = ketebalan benda uji

Ug max = maksimal *Usharpness geometri*

3.13 Penentuan *Exposure Time*

Kita dapat menentukan suatu nilai *exposure time* setelah kita menentukan suatu *source film distance* yang sudah diatur dalam penelitian ini, dengan cara menggunakan suatu rumus yang akan digunakan untuk mencari nilai suatu *exposure time* dalam penelitian ini agar mendapatkan hasil yang memenuhi syarat keberterimaan berikut rumus tersebut.

$$ET = \left(\frac{\text{SFD Aktual}}{\text{SFD Kurva}} \right)^2 \times \frac{E}{A}$$

Dimana

ET : *Exposure time* (menit)

E : Faktor *exposure time* (Ci menit)

A : Aktifitas sumber (Ci)

Selain rumus diatas, ada juga rumus yang digunakan oleh beberapa lembaga untuk menentukan lama penyinaran. Dapat dikatakan sebagai rumus lapangan, hal ini dikarenakan efisiensi waktu pekerjaan. Setiap lembaga memiliki cara tersendiri dalam menentukannya. Hasil yang ada terpaut sedikit dengan rumus perhitungan diatas.

Setelah mendapatkan data-data mulai dari *source film distance* yang kita tentukan dan faktor *exposure* barulah kita dapat menentukan lama *exposure time* tersebut masing-masing SFD yang ditentukan dengan rumus berikut:

1. DWSV (*contact*) 120 mm

$$ET = \left(\frac{\text{SFD Aktual}}{\text{SFD Kurva}} \right)^2 \times \frac{E}{A}$$

$$ET = \left(\frac{120}{610} \right)^2 \times \frac{132}{13}$$

$$ET = 0,38 \text{ menit}$$

$$ET = 23 \text{ detik}$$

3.14 Perhitungan *Unsharpness Geometric*

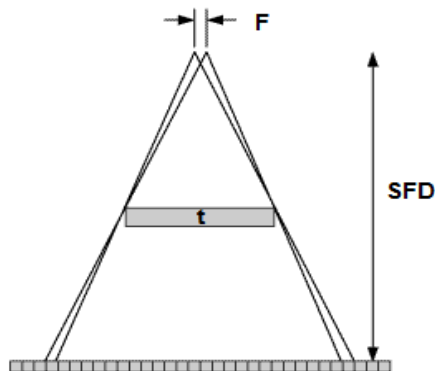
Dilakukan perhitungan *Unsharpness Geometric* ini diperlukan untuk memastikan *source film distance* dalam penelitian ini masih masuk dalam *Unsharpness Geometric* batas maksimum yang ditentukan oleh ASME Sec.V 2015.

1. DWSV (*contact*) 120 mm

$$Ug = \frac{F \times t}{SFD - t}$$

$$Ug = \frac{3,72 \times 9,02}{120 - 9,02}$$

$$Ug = 0,30$$



Gambar 3.19 Penjelasan rumus Ug

3.15 Fluida Pengisi Pipa

Selain dalam keadaan kosong, spesimen pipa juga diuji dalam keadaan isi dengan berbagai fluida. Untuk mensimulasikan pengerjaan pengujian radiografi dalam sebuah pipeline pabrik dengan tidak menghentikan proses produksi. Berikut 2 fluida yang dijadikan variable dalam penelitian ini.

3.15.1 Air

Air dalam penelitian ini menggunakan air ledeng biasa atau air PDAM yang disalurkan ke rumah-rumah penduduk. Sesuai standar internasional air memiliki densitas 1gr/cm^3 .

3.15.2 Oli Mesran SAE 40

Oli yang digunakan untuk mengisi pipa yang digunakan dalam penelitian ini adalah Oli Mesran SAE 40 yang memiliki karakteristik sebagai berikut.

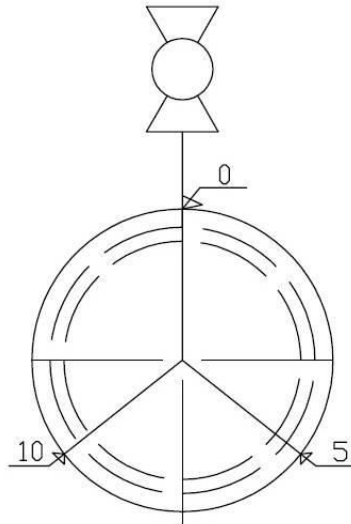
Tabel 3.4 Karakteristik Oli Mesran

TYPICAL CHARACTERISTICS						
Characteristics	Test Method	MESRAN 10W	MESRAN 20W	MESRAN 30	MESRAN 40	MESRAN 50
SAE Viscosity Grade		10W	20W	30	40	50
Density 15 °C, kg/l	ASTM D - 4052	0.8832	0.8857	0.8797	0.8931	0.8961
Kinematic Viscosity at 40 °C, cSt	ASTM D - 445	37.7	66.03	88.98	129.8	196.7
	ASTM D - 445	6.24	8.553	10.42	13.46	17.53
Viscosity Index	ASTM D - 2270	113	100	99	98	96
ASTM Colour	ASTM D - 1500	L 4.5	L 2.5	L 3.0	L 3.0	L 3.5
Flash Point °C	ASTM D - 92	230	230	246	251	268
Pour point, °C	ASTM D - 5950	-32	-9	-9	-9	-9
Total Base Number, mg KOH/g	ASTM D - 2896	11.2	5.26	5.35	5.36	5.26

3.16 Sudut Penempelan Film

Untuk pipa NPS 4 yang kami gunakan sebagai specimen penelitian ini, maka kita membutuhkan 3 film pendek radiografi. Tiga film tersebut akan diinterpretasi bergantian dengan membagi keliling pipa menjadi 3 bagian. Kita menyebutnya dengan sudut 0, 5, dan 10. Posisi film akan mengisi sudut 0-5, 5-10, dan 10-0

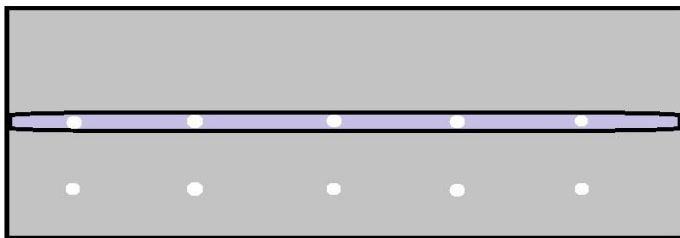
yang memiliki besar sudut 120° . Teknik ini juga telah diatur oleh ASME Sec.V T-271.2.



Gambar 3.20 Penempatan film

3.17 Metode Pengambilan Data Nilai Densitas

Dalam pengambilan data nilai densitas dilakukan dengan mengambil data di weld metal dan base metal. Pengambilan data dilakukan secara merata yaitu satu film terdapat 10 titik (5 titik weld metal, 5 titik base metal).



Gambar 3.21 Pengambilan nilai densitas

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Parameter Spesimen

Berikut adalah parameter-parameter dalam pembuatan spesimen. Dalam tabel-tabel berikut akan dijelaskan mulai dari material hingga parameter pengelasan yang digunakan untuk produk tersebut.

Tabel 4.1 Logam Induk Uji

NAMA	KETERANGAN
Material Spesification	API 5L Grade B
Tebal	6,02 mm
Diameter	114,3 mm
Filler metal diameter	3,2 mm
Posisi pengelasan	1G

Tabel 4.2 Parameter Pengelasan

Proses	SMAW
Layer number/pass	2
Travel speed	1,5 mm/s
Amperage	130 A
Voltage	27 volt
Electrode diameter	3,2 mm

Tabel 4.3 Heat Input

Type Electroda	Arus (I)	Voltase (E)	Travel speed (V)	Heat Input (HI)
E 8018 B-2 Diameter 3,2	130 Ampere	27 Volt	1.5 mm/s	2340 J/mm

4.2 Proses Radiografi Pipa Kondisi Kosong



Gambar 4.1 Contact pipa kosong

4.3 Proses Radiografi Pipa Penuh Air



Gambar 4.2 Contact pipa penuh air

4.4 Proses Radiografi Pipa Penuh Oli



Gambar 4.3 Contact pipa penuh oli

4.5 Pencucian Film Radiografi

Setelah pengujian radiografi telah selesai semua *film* harus memasuki proses pencucian *film* agar menghasilkan citra laten. Karena saat radiasi menembus *film*, *film* terekspose karena sinar *gamma* mengionisasi butiran-butiran kecil perak bromida (AgBr) didalam emulsi *film*. Mulai dari *developer*, *stopbath*, *fixer* dan pencucian dengan air bersih yang mengalir karena apabila tidak mengalir akan dapat menimbulkan kotoran-kotoran yang terbawa oleh air yang menggenang. Table 4.4 dapat menjelaskan lama waktu masing-masing pemrosesan yang digunakan untuk memproses *film-film* tersebut.

Dalam pencucian *film* ini dilakukan dengan cara bersamaan jadi jelas akan mendapatkan proses treatment yang satu wadah dan satu waktu dalam pencucian *film* untuk menghindari perbedaan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi suatu hasil *film* radiografi.

Table 4.4 Lama waktu pemrosesan *film*

CONDITION	DEVELOPER	STOPBATH	FIXER	WASHING
Normal	180 Detik	60 Detik	30 Detik	30 Detik

4.6 Hasil Densitas

Dalam pengujian radiografi ini didapatkan nilai densitas dari *film* radiografi ditunjukkan pada Table 4.5

Table 4.5 Hasil densitas Pipa Kosong

Weld Metal			Base Metal			Titik
0-5	5-10	10-0	0-5	5-10	5-10	
2.28	3.04	2.74	2.44	3.15	2.24	1
2.26	2.25	2.86	2.39	2.98	2.74	2
2.07	2.63	2.65	2.3	2.87	2.57	3
2.15	2.39	2.6	2.3	2.75	2.58	4
2.28	2.72	2.89	2.52	2.78	2.67	5
2.208	2.606	2.748	2.39	2.906	2.56	Rata-rata Posisi
2.520666667			2.618666667			Rata-rata Total

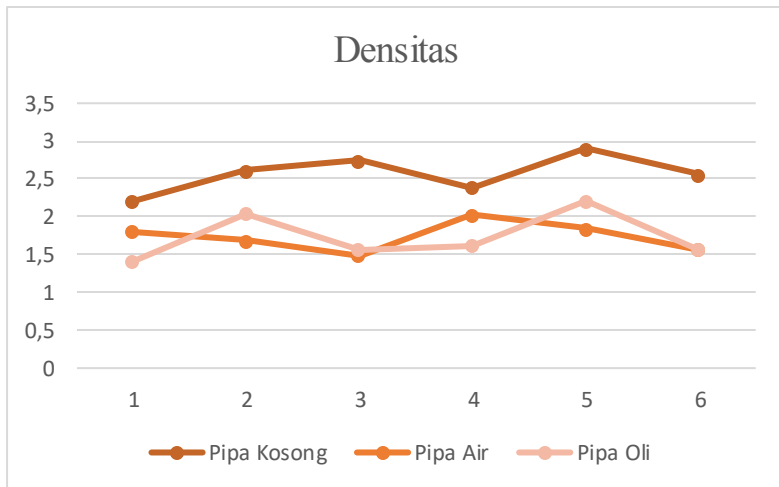
Table 4.6 Hasil densitas Pipa Penuh Air

Weld Metal			Base Metal			Titik
0-5	5-10	10-0	0-5	5-10	5-10	
2.29	1.78	1.49	2.53	1.83	1.68	1
1.72	1.33	1.39	1.92	1.62	1.45	2
1.5	1.57	1.3	1.74	1.61	1.37	3
1.6	1.7	1.49	1.8	1.86	1.49	4
1.94	2.04	1.74	2.16	2.31	1.88	5
1.81	1.684	1.482	2.03	1.846	1.574	Rata-rata Posisi
1.658666667			1.816666667			Rata-rata Total

Table 4.7 Hasil densitas Pipa Penuh Oli

Weld Metal			Base Metal			Titik
0-5	5-10	10-0	0-5	5-10	5-10	
1.92	2.42	1.83	1.94	2.57	1.98	1
1.4	1.74	1.63	1.56	2.19	1.56	2
1.25	1.9	1.3	1.42	1.98	1.31	3
1.26	1.8	1.42	1.42	1.93	1.35	4
1.24	2.36	1.66	1.74	2.38	1.64	5
1.414	2.044	1.568	1.616	2.21	1.568	Rata-rata Posisi
1.675333333			1.798			Rata-rata Total

Nilai densitas pipa kosong weld metal= 2.52, base metal= 2.61; Pipa penuh air weld metal= 1.65, base metal= 1.81; Pipa penuh oli weld metal = 1.67, base metal= 1.79. Nilai densitas yang dapat masuk syarat keberterimaan ASME Ir-192 adalah 2-4. Maka dari itu yang dapat memenuhi syarat keberterimaan ASME hanya pipa kosong. Berikut grafik nilai densitas hasil penginterpretasian radiografi penelitian yang dilakukan.

**Gambar 4.4** Bagan Hasil Densitas

4.9 Hasil Sensitivitas

Dalam pengujian radiografi ini didapatkan hasil sensitivitas dengan melihat jumlah *wire* yang muncul dari *film* radiografi ditunjukkan pada Table 4.6. Angka pada kolom sensitivitas menunjukkan nomer kawat yang muncul dan sudah ditentukan melalui standart ASME T-276 dan jumlah kawat yang terlihat jelas adalah angka 5 dan 6 pada tabel 2.3 yang menjelaskan bahwa *wire identity* minimal yang keluar adalah *wire* 5.

Table 4.6 Hasil sensitivitas pada kondisi normal

VARIABEL	EXPOSURE TIME (S)	EVALUASI SENSITIVITAS	RESULT FILM	
			ACC	RESHOOT
Pipa Kosong	23	Wire 5, 6		√
Pipa Penuh Air	23	Wire 5, 6		√
Pipa Penuh Oli	23	Wire 5, 6		√

Perhitungan sensitivitas ekivalen

$$S = \frac{\Phi}{X} \cdot 100\%$$

$$S = \frac{0.2}{9.02} \cdot 100\%$$

$$S = 2.217\%$$

Dengan

S = Sensitivitas dalam persen

Φ = diameter kawat

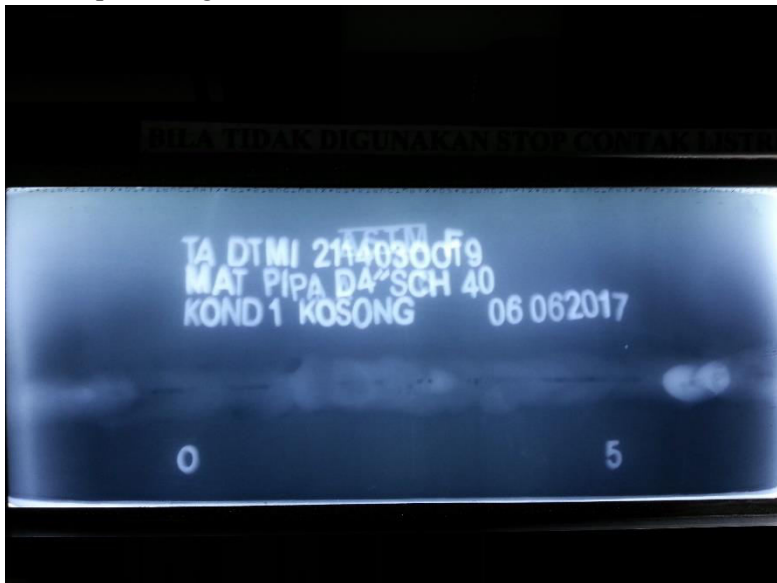
X = tebal material (las)

Dari perhitungan sensitivitas diatas didapatkan hasil lebih dari 2% sehingga semua film tidak memnuhi syarat keberterimaan ASME Sec.V.

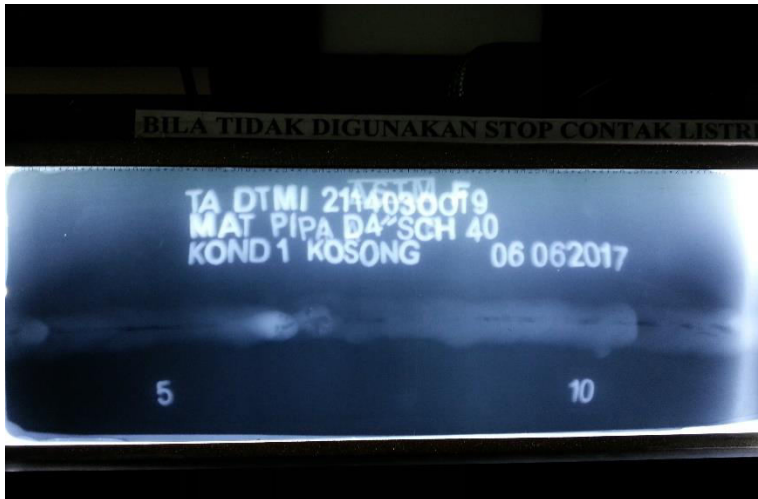
4.8 Hasil Film

Benda yang diuji dengan diameter diatas 3,5 inchi pada sesuai standart ialah *source film distance* yang di lakukan ialah kontak dengan guide tube. Gambar film berikut diambil saat film ditampilkan pada viewer.

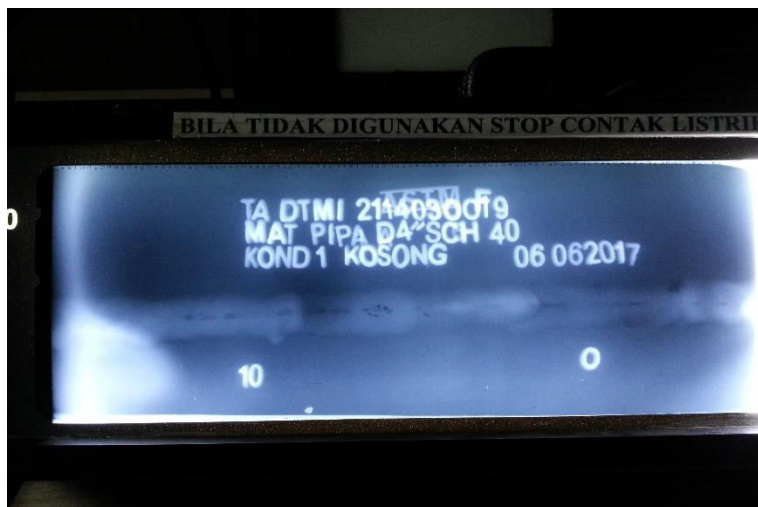
4.8.1 Pipa kosong



Gambar 4.5 Pipa kosong posisi 0-5



Gambar 4.6 Pipa kosong posisi 5-10

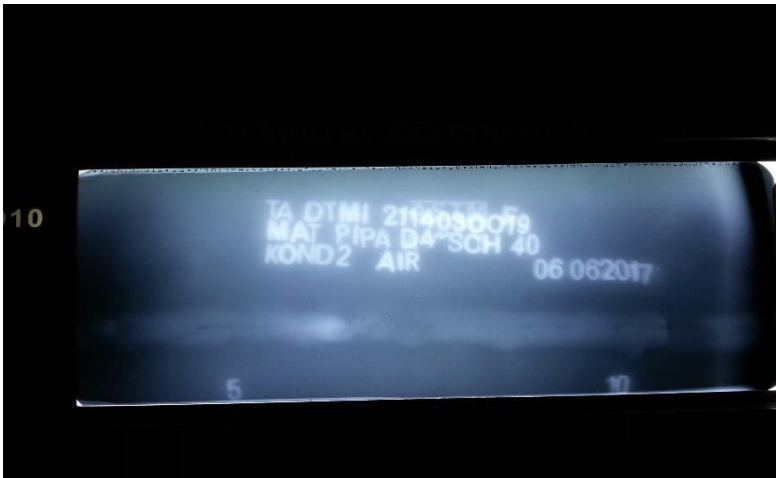


Gambar 4.7 Pipa kosong posisi 10-0

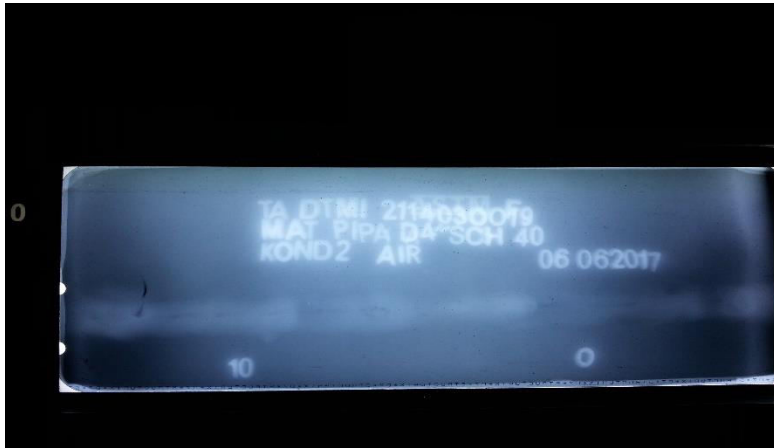
4.8.2 Pipa Penuh Air



Gambar 4.8 Pipa penuh air posisi 0-5



Gambar 4.9 Pipa penuh air posisi 5-10



Gambar 4.10 Pipa penuh air posisi 10-0

4.8.3 Pipa Penuh Oli



Gambar 4.11 Pipa penuh oli posisi 0-5



Gambar 4.12 Pipa penuh oli posisi 5-10



Gambar 4.13 Pipa penuh oli posisi 10-0

4.9 Analisa Hasil Densitas dan Sensitivitas Film

Dari data densitas yang telah kita dapatkan kita dapat menarik kesimpulan bahwa adanya fluida dalam pipa tersebut

dapat melemahkan energi radiasi gamma-ray yang dipancarkan oleh source. Densitas dari film hasil interpretasi pipa kosong dapat memenuhi syarat keberterimaan ASME Sec.V. Berbeda dengan nilai densitas dari interpretasi pipa berisi air yaitu nilainya dibawah syarat minimal keberterimaan ASME Sec.V. Hal yang sama juga terjadi pada nilai densitas hasil penginterpretasian pipa berisi oli yang bahkan memiliki nilai densitas yang lebih rendah lagi dari pipa berisi air.

4.9.1 Efek Fotolistrik

Turunnya nilai densitas dari film hasil interpretasi pada pipa berisi air dan pipa berisi oli dipengaruhi oleh efek fotolistrik. Efek fotolistrik adalah efek terpisahnya elektron karena tertumbuk oleh gelombang elektromagnetik. Turunnya nilai densitas film radiografi menjelaskan bahwa terjadi penurunan paparan radiasi terhadap film. Paparan radiasi menurun jika dihubungkan terhadap efek fotolistrik menyatakan bahwa elektron gelombang elektromagnetik menumbuk elektron dari fluida dan terjadi perubahan arah dari elektron gelombang magnetik tersebut sehingga tidak mengekspose film radiografi.

4.9.2 Efek Compton

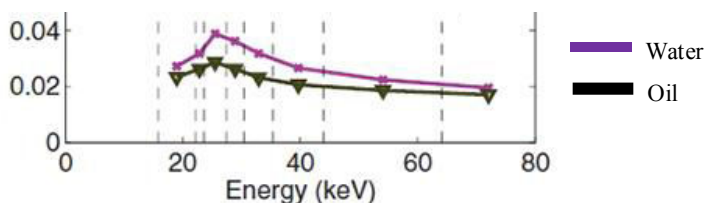
Efek Compton juga menjadi penyebab turunnya energi radiasi sinar gamma saat mengekspose film radiografi. Efek Compton adalah efek dimana foton dari gelombang elektromagnetik menabrak elektron dari material lain, kemudian elektron material tersebut akan menyerap sebagian energi dari foton gelombang elektromagnetik dan membuatnya bergerak dengan sudut tertentu. Maka dari itu energi radiasi yang mengekspose film menjadi lemah karena telah menabrak elektron-elektron fluida dan energinya telah terserap oleh elektron tersebut.

4.9.3 Efek Produksi Pasangan

Saat foton berenergi tinggi seperti *gamma-ray* menabrak suatu elektron maka kesempatan untuk membentuk atom baru akan sangat mungkin terjadi. Pada waktu foton yang berenergi lebih dari 1,02 MeV menembus materi dan mendekati inti atom, karena pengaruh medan listrik yang kuat dari inti atom, foton berubah dan membentuk satu pasangan yaitu positron dan elektron yang masing-masing berenergi sebesar 0,51 MeV. Jumlah koefisien atenuasi efek fotolistrik, efek Compton dan produksi pasangan disebut koefisien atenuasi linear.

4.9.4 Koefisien Atenuasi Linier

Jika radiasi γ atau radiasi-X menembus materi, maka akan terjadi interaksi dengan materi dan mengalami pengurangan energi. Atenuasi karena interaksi adalah proses pengurangan energi foton atau perubahan arah foton. Rasio atenuasi foton dalam materi yang tebalnya 1 cm disebut koefisien atenuasi (μ). Pada umumnya, semakin besar energi foton, semakin besar juga nilai μ -nya. Berikut adalah grafik yang menjelaskan besar koefisien atenuasi materi oli dan air.



Gambar 4.14 Koefisien atenuasi linear

Pada gambar grafik 4.14 diatas kita dapat melihat bahwa koefisien atenuasi yaitu gabungan dari efek fotolistrik, efek

Compton, dan produksi pasangan dari oli dan air tidak jauh berbeda. Itulah yang menyebabkan nilai densitas rata-air dan oli tidak jauh berbeda tetapi tetap kurang dari syarat keberterimaan ASME Sec.V karena efek-efek yang terjadi saat penembakan radiasi tersebut.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan “Pengaruh fluida air dan oli mesin SAE 40 terhadap sensitivitas dan densitas film radiografi pada pipa API 5L NPS 4 SCH 40” dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil penelitian ini pipa yang kosong dapat masuk kedalam syarat keberterimaan ASME Sec.V. Berbeda dengan pipa yang berisi air nilai densitasnya kurang dari syarat keberterimaan ASME Sec.V, begitupun juga dengan pipa yang berisi oli bahkan lebih rendah sedikit nilai densitasnya dibandingkan dengan nilai densitas pipa berisi air. Untuk sensitivitas dalam penelitian ini juga tidak masuk syarat keberterimaan ASME Sec.V. Berdasarkan hasil penelitian radiografi ini dapat disimpulkan bahwa fluida air dan oli mesin SAE 40 yang terisi dalam sebuah pipa yang akan diinterpretasi akan menurunkan nilai densitas suatu film hasil radiografi secara drastis.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil dan kesimpulan dari penelitian ini saya dapat menyarankan agar penelitian ini dapat berkembang lebih jauh dan lebih memiliki tingkatan yang lebih baik, yaitu:

1. Dapat merubah berbagai fluida dalam pipa uji yang bertujuan dimana untuk pengembangan ilmu radiografi.
2. Dapat menambahkan exposure time agar nilai densitas film radiografi pipa berisi fluida dapat diterima ASME Sec.V.

DAFTAR PUSTAKA

1. Wiryosumarto, Harsono Prof. Dr. Ir dan Okumura Toshie Prof. Dr. 2000. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta: PT pradnya Paramita.
2. ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section V, Non Destructive Examination. New York.
3. General Electric Company. 2006. Industrial Radiography. www.geinspectiontechnologies.com/en/2017/05.
4. Pusat Pendidikan dan Pelatihan Badan Tenaga Nuklir Nasional. 2008. Teknik Radiografi level 1.
5. <http://www.batan.go.id/ensiklopedi/08/01/02/03/08-01-0203.html>
6. Trimulya, Andre. 2017. Pengaruh SFD 120mm, 240mm, dan 360mm terhadap hasil film radiografi pengujian tak rusak.

Note: *) SOD = Source to Object Distance, **) DSSOF = Distance from Source Side of Object to the Film at the minimum Source to Object Distance
IP: Incomplete Penetration, IF: Incomplete Fusion, EUC: External Undercut, Crk: Crack,

AND TECH
AND TECHNICAL SERVICES

Jl. Bendul Merisi Indah No. 5 , Surabaya 60239 East Java
Phone : 031-91743248 Fax : 031-8415329
E-mail : customer@andtech.co.id Website : www.andtech.co.id

[illegible]

Note: *) SOD = Source to Object Distance, **) DSSOF = Distance from Source Side of Object to the Film at the minimum Source to Object Distance
IP: Incomplete Penetration, IF: Incomplete Fusion, EUC: External Undercut, Crk: Crack,

Lampiran 3



Jl. Bendul Merisi Indah No. 5 , Surabaya 60239 East Java
Phone : 031-91743248 Fax : 031-8415329
E-mail : customer@andtech.co.id Website : www.andtech.co.id



LEMBAGA INSPEKSI
SNI ISO IEC 17020:201
LI-058-IDN

RADIOGRAPHY EXAMINATION REPORT

[illegible]

Note: *) SOD = Source to Object Distance, **) DSSOF = Distance from Source Side of Object to the Film at the minimum Source to Object Distance
IP: Incomplete Penetration, IF: Incomplete Fusion, EUC: External Undercut, Crk: Crack.

Table 1
Electrode Classification

AWS Classification ^a		Type of Coating	Welding Positions for Classification ^b	Type of Current ^c
A5.5	A5.5M			
E7010-X	E4910-X	High cellulose sodium	F, V, OH, H	dcep
E7011-X	E4911-X	High cellulose potassium	F, V, OH, H	ac or dcep
E7015-X ^{d,e}	E4915-X ^{d,e}	Low hydrogen sodium	F, V, OH, H	dcep
E7016-X ^{d,e}	E4916-X ^{d,e}	Low hydrogen potassium	F, V, OH, H	ac or dcep
E7018-X ^{d,e}	E4918-X ^{d,e}	Low hydrogen potassium, iron powder ^f	F, V, OH, H [H-titans]	ac or dcep
E7020-X	E4920-X	High iron oxide	F	ac, dcep, or dcep
E7027-X	E4927-X	High iron oxide, iron powder ^g	[H-titans] F	ac, dcep, or dcep
E8010-X	E5510-X	High cellulose sodium	F, V, OH, H	dcep
E8011-G	E5511-G	High cellulose potassium	F, V, OH, H	ac or dcep
E8013-G	E5513-G	High titania potassium	F, V, OH, H	ac, dcep, or dcep
E8015-X ^{d,e}	E5515-X ^{d,e}	Low hydrogen sodium	F, V, OH, H	dcep
E8016-X ^{d,e}	E5516-X ^{d,e}	Low hydrogen potassium	F, V, OH, H	ac or dcep
E8018-X ^{d,e}	E5518-X ^{d,e}	Low hydrogen potassium, iron powder ^f	F, V, OH, H	ac or dcep
E8045-P2 ^{d,e}	E5545-P2 ^{d,e}	Low hydrogen sodium	F, OH, H, V-down	dcep
E9010-G	E6210-G	High cellulose sodium	F, V, OH, H	dcep
E9010-X	E6210-X	High cellulose sodium	F, V, OH, H	dcep
E9011-G	E6211-G	High cellulose potassium	F, V, OH, H	ac or dcep
E9013-G	E6213-G	High titania potassium	F, V, OH, H	ac, dcep, or dcep
E9015-X ^{d,e}	E6215-X ^{d,e}	Low hydrogen sodium	F, V, OH, H	dcep
E9016-X ^{d,e}	E6216-X ^{d,e}	Low hydrogen potassium	F, V, OH, H	ac or dcep
E9018-X ^{d,e}	E6218-X ^{d,e}	Low hydrogen potassium, iron powder ^f	F, V, OH, H	ac or dcep
E9018M ^{d,e}	E6218M ^{d,e}	Iron powder, low hydrogen ^f	F, V, OH, H	dcep
E9045-P2 ^{d,e}	E6245-P2 ^{d,e}	Low hydrogen sodium	F, OH, H, V-down	dcep
E10010-G	E6910-G	High cellulose sodium	F, V, OH, H	dcep
E10011-G	E6911-G	High cellulose potassium	F, V, OH, H	ac or dcep
E10013-G	E6913-G	High titania potassium	F, V, OH, H	ac, dcep, or dcep
E10015-X ^{d,e}	E6915-X ^{d,e}	Low hydrogen sodium	F, V, OH, H	dcep
E10016-X ^{d,e}	E6916-X ^{d,e}	Low hydrogen potassium	F, V, OH, H	ac or dcep
E10018-X ^{d,e}	E6918-X ^{d,e}	Low hydrogen potassium, iron powder ^f	F, V, OH, H	ac or dcep
E10018M ^{d,e}	E6918M ^{d,e}	Iron powder, low hydrogen ^f	F, V, OH, H	dcep
E10045-P2 ^{d,e}	E6945-P2 ^{d,e}	Low hydrogen sodium	F, OH, H, V-down	dcep
E11010-G	E7610-G	High cellulose sodium	F, V, OH, H	dcep
E11011-G	E7611-G	High cellulose potassium	F, V, OH, H	ac or dcep
E11013-G	E7613-G	High titania potassium	F, V, OH, H	ac, dcep, or dcep
E11015-C ^{d,e}	E7615-C ^{d,e}	Low hydrogen sodium	F, V, OH, H	dcep
E11016-C ^{d,e}	E7616-C ^{d,e}	Low hydrogen potassium	F, V, OH, H	ac or dcep
E11018-C ^{d,e}	E7618-C ^{d,e}	Low hydrogen potassium, iron powder ^f	F, V, OH, H	ac or dcep
E11018M ^{d,e}	E7618M ^{d,e}	Iron powder, low hydrogen ^f	F, V, OH, H	dcep
E12010-G	E8310-G	High cellulose sodium	F, V, OH, H	dcep
E12011-G	E8311-G	High cellulose potassium	F, V, OH, H	ac or dcep
E12013-G	E8313-G	High titania potassium	F, V, OH, H	ac, dcep, or dcep
E12015-C ^{d,e}	E8315-C ^{d,e}	Low hydrogen sodium	F, V, OH, H	dcep

Lampiran 6

Table 2 Chemical Composition Requirements for Undiluted Weld Metal											
Weight Percent ^{a,b}											
AWS Classification ^c	UNS	UNS Number ^d	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	Additional Elements ^e
A5.5	A5.5M										Type Aml.
Carbon-Molybdenum Steel Electrodes											
E7010-A1	E4910-A1	W7010	0.12	0.60	0.40	0.03	0.03	—	—	0.40-0.65	—
E7011-A1	E4911-A1	W7011	0.12	0.60	0.40	0.03	0.03	—	—	0.40-0.65	—
E7015-A1	E4915-A1	W7015	0.12	0.90	0.60	0.03	0.03	—	—	0.40-0.65	—
E7016-A1	E4916-A1	W7016	0.12	0.90	0.60	0.03	0.03	—	—	0.40-0.65	—
E7018-A1	E4918-A1	W7018	0.12	0.90	0.80	0.03	0.03	—	—	0.40-0.65	—
E7020-A1	E4920-A1	W7020	0.12	0.60	0.40	0.03	0.03	—	—	0.40-0.65	—
E7027-A1	E4927-A1	W7027	0.12	1.00	0.40	0.03	0.03	—	—	0.40-0.65	—
Chromium-Molybdenum Steel Electrodes											
E8016-B1	E5516-B1	W51016	0.05-0.12	0.90	0.60	0.03	0.03	—	0.40-0.65	0.40-0.65	—
E8018-B1	E5518-B1	W51018	0.05-0.12	0.90	0.80	0.03	0.03	—	0.40-0.65	0.40-0.65	—
E8015-B2	E5515-B2	W52015	0.05-0.12	0.90	1.00	0.03	0.03	—	1.00-1.50	0.40-0.65	—
E8016-B2	E5516-B2	W52016	0.05-0.12	0.90	0.60	0.03	0.03	—	1.00-1.50	0.40-0.65	—
E8018-B2	E5518-B2	W52018	0.05-0.12	0.90	0.80	0.03	0.03	—	1.00-1.50	0.40-0.65	—
E7015-B2L	E4915-B2L	W52115	0.05	0.90	1.00	0.03	0.03	—	1.00-1.50	0.40-0.65	—
E7016-B2L	E4916-B2L	W52116	0.05	0.90	0.60	0.03	0.03	—	1.00-1.50	0.40-0.65	—
E7018-B2L	E4918-B2L	W52118	0.05	0.90	0.80	0.03	0.03	—	1.00-1.50	0.40-0.65	—
E9015-B3	E6215-B3	W53015	0.05-0.12	0.90	1.00	0.03	0.03	—	2.00-2.50	0.90-1.20	—
E9016-B3	E6216-B3	W53016	0.05-0.12	0.90	0.60	0.03	0.03	—	2.00-2.50	0.90-1.20	—
E9018-B3	E6218-B3	W53018	0.05-0.12	0.90	0.80	0.03	0.03	—	2.00-2.50	0.90-1.20	—
E8015-B3L	E5515-B3L	W53115	0.05	0.90	1.00	0.03	0.03	—	2.00-2.50	0.90-1.20	—
E8016-B3L	E5516-B3L	W53116	0.05	0.90	0.60	0.03	0.03	—	2.00-2.50	0.90-1.20	—
E8015-B4L	E5515-B4L	W53415	0.05	0.90	1.00	0.03	0.03	—	1.75-2.25	0.40-0.65	—
E8016-B5	E5516-B5	W51316	0.07-0.15	0.40-0.70	0.30-0.60	0.03	0.03	—	0.40-0.60	1.00-1.25	Y
E8015-B6	E5515-B6	W50215	0.05-0.10	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	4.0-6.0	0.45-0.65	—
E8016-B6	E5516-B6	W50216	0.05-0.10	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	4.0-6.0	0.45-0.65	—
E8018-B6	E5518-B6	W50218	0.05-0.10	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	4.0-6.0	0.45-0.65	—
E9018-B6	E6218-B6	W50219	0.05-0.10	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	4.0-6.0	0.45-0.65	—

BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara yang dilahirkan pada tanggal 9 April 1996 di Surabaya, Provinsi Jawa Timur. Pendidikan formal yang pernah ditempuh yaitu pada tahun 2002-2008 bersekolah di SDN Margorejo I, kemudian pada tahun 2008-2011 melanjutkan ke SMP Negeri 12 Surabaya dan pada tahun 2011-2014 melanjutkan ke SMA Negeri 16 Surabaya. Setelah itu pada tahun 2014 penulis meneruskan pendidikan tingkat perguruan tinggi di Program Studi Diploma, Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi-ITS dan mengambil bidang studi Manufaktur. Penulis pernah menjabat sebagai Ketua Komunitas Pecinta Alam D3 Mesin ITS (D3MOUNT) periode 2015-2016. Penulis pernah menjadi Koordinator Supporter HMDM 2015-2016. Selama kuliah penulis juga pernah menjadi Staff Minat Bakat HMDM 2015-2016 selama satu periode kepengurusan. Bagi pembaca yang ingin berdiskusi lebih luas dan untuk informasi mengenai tugas akhir ini, pembaca dapat menghubungi penulis via E-mail : kurniawan.aprilin@gmail.com